Lautheitsunterschiede: Probleme und Lösungsansätze im Hörfunk

Bachelorarbeit
im Studiengang Audiovisuelle Medien

vorgelegt von **Michael Mayerl**
Matrikelnummer: **17017**
an der Hochschule der Medien Stuttgart
am **09.09.2009**

Erstprüfer: **Prof. Oliver Curdt**
Zweitprüfer: **Dipl. Ing. (FH) Johannes Steuer**

Erklärung

Hiermit erkläre ich, dass diese Bachelor-Thesis von mir selbstständig verfasst wurde. Quellen, die ich für diese Arbeit genutzt habe, habe ich angegeben. Wörtliche und auch sinngemäße Zitate habe ich als solche kenntlich gemacht.

Ort, Datum Unterschrift

Zusammenfassung

In der hier vorgelegten Arbeit wird mit dem Hauptaugenmerk auf den Hörfunk der Frage nachgegangen, welche Probleme Lautheitsunterschiede von Musiktiteln mit sich bringen, welche Ursachen diese haben und wie Lautheitsunterschiede anhand drei konkreter Lösungsansätze beseitigt werden können. Unter Berücksichtigung von psychoakustischen, technischen und psychologischen Gesichtspunkten werden verschiedene Aspekte der Lautheit diskutiert und Ursachen und Probleme von Lautheitsunterschieden aufgezeigt. Aus dieser Diskussion werden Vergleichskriterien für die drei Lösungsansätze herausgearbeitet. Die drei Geräte (Jünger d07, Optimod-FM 8200, Dolby DP600) werden in ihrer Funktionsweise analysiert und anhand der Kriterien miteinander verglichen. Zentral ist dabei die Fragestellung, ob bzw. inwiefern die drei Lösungsansätze die verschiedenen Problemstellungen von Lautheitsunterschieden für den Hörfunk auffangen können. In einer kleinen Pilot-Hörstudie wird zudem eine Tendenz der Effizienz der Lautheitsangleichung der Geräte ermittelt. Es zeigt sich, dass jedes der Geräte seine Stärken und Schwächen hat und es auf den Anwendungskontext ankommt, welches der Geräte zu bevorzugen ist.

Abstract

The work presented here explores the issue of problems and causes of loudness differences of music and their removal on the basis of three concrete solution attempts with main attention to the radio. Taking into account psychoacoustic, technical and psychological points of view different aspects of loudness are discussed, and causes and problems of loudness differences are shown. Based on this discussion, comparative criteria of three solution attempts are worked out. The three devices (Jüngerd07, Optimod FM 8200, Dolby DP600) are analyzed in their functional way and compared using the shown criteria. The main question of the comparison is whether the solution attempts can deal with the problems of loudness differences. In a small pilot hearing study, a trend of the efficiency of the loudness adjustment by the devices is ascertained. In conclusion, all three devices have got their own strengths and weaknesses, and it depends on the application context which device should be preferred.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Lautstärkeentwicklung am Beispiel von Metallica.......................... 8

Abbildung 2: Zusammenhang zwischen Lautheit N in Sone und Lautstärkepegel Ln in Phon (nach Zwicker/ Feldkeller 1967: 128).. 12

Abbildung 3: Kurven gleicher Lautstärke (nach Ulrich/ Hoffmann 2007: 460)....13

Abbildung 4: Empfundene Tonhöhenwahrnehmung in Abhängigkeit von Frequenz und Pegel (nach Ulrich/ Hoffmann 2007: 468)................14

Abbildung 5: Hörfläche (vgl. Zwicker 1982: 34)... 14

Abbildung 6: Zusammenhang zwischen Signaldauer und Lautheitsempfindung nach Zwicker (Ulrich/ Hoffmann 2007: 462)................................ 15

Abbildung 7: Verdeckung durch 1 KHz Ton für unterschiedliche Pegel nach Zwicker (Ulrich/ Hoffmann 2007: 463)................................ 16

Abbildung 8: Zeitliche Verdeckung (nach Ulrich/ Hoffmann 2007: 464).............17

Abbildung 9: Klangspektrum eines Flügels (nach Henle H 2001: 30)................. 19

Abbildung 10: Verstärkungskennlinie eines Kompressors (nach Henle 2001: 273)..21

Abbildung 11: Kennlinie eines Limiters (nach Henle 2001: 279).......................... 22

Abbildung 12: Kennlinie eines Noise Gate (nach Henle 2001: 284).......................23

Abbildung 13: Frequenzbewertungskurven (nach Kahsnitz 2009: 35)....................27

Abbildung 14: Lautheitsdiagramm eines Beispielgeräusches (vgl. Deutsches Institut für Normung 1991: 3)..29

Abbildung 15: Spitzenhub und Modulationsleistung Vor (15a) und Nach (15b) technischer Bearbeitung..39

Abbildung 16: Lautheitskorrektur von Audiodateien mit (links) und ohne (rechts) Metadaten (nach Henle/France 2007: 265)...............57

Abbildung 17: Durchschnittlich eingestufte Lautheitsunterschiede (Pilot-Studie mit zehn Probanden; die angegebenen Referenzwerte ergeben sich aus den durchschnittlichen Einstufungen der unbearbeiteten Original-Audiofiles)... 67

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Potentielle Vor- und Nachteile der Lautheitsangleichung............... 43

Tabelle 2: Allgemeine Parameter des Jünger d07..47

Tabelle 3: Übersicht zum Vergleich von Jünger d07, Optimod-FM 8200 und Dolby DP600... 68

Inhaltsverzeichnis

Erklärung

Kurzfassung/Abstract

Abbildungsverzeichnis

Tabellenverzeichnis

1 Einleitung.....6

2 Grundlagen zur Lautheit..... 8

2.1 Psychoakustische Grundlagen der Lautheit.....10

2.2 Technische Aspekte der Lautheit.....20

2.2.1 Kompressoren, Limiter und Expander..... 20

2.2.2 Messtechnik zur Lautheit..... 23

2.3 Psychologie und Lautheitsunterschiede.....30

3 Problemstellung aus der Praxis des Hörfunks..... 34

4 Technische Lösungsansätze der Lautheitsangleichung im Hörfunk.....43

4.1 Jünger d07.....44

4.1.1 Funktionsweise.....44

4.1.2 Einbindung in den Hörfunk und Sendeablauf..... 48

4.2 Optimod-FM 8200.....49

4.2.1 Funktionsweise.....49

4.2.2 Einbindung in den Hörfunk und Sendeablauf..... 55

4.3 Dolby DP600..... 56

4.3.1 Funktionsweise.....56

4.3.2 Einbindung in den Hörfunk und Sendeablauf..... 58

5 Vergleich der Lösungsansätze.....60

6 Fazit/Ausblick..... 70

Literaturverzeichnis.....74

Anhang.....77

1 Einleitung[1]

Die technischen Entwicklungen der vergangenen Jahre erlauben immer bessere Tonaufnahmen und -wiedergaben, wobei dieser technische Fortschritt zweifelsfrei einen Qualitätsgewinn für Musikliebhaber bedeutet. Die verbesserte Technik der Tonstudios, der Sendeanstalten des Hörfunks und der Abhöranlagen der Rezipienten sorgt dafür, dass sich die Musik der heutigen Zeit immer mehr durch Klarheit, Präsenz und vor allem durch Lautstärke auszeichnet. Um darüber hinaus auf dem Markt konkurrenzfähig zu bleiben, müssen Tonaufnahmen in ihrer Qualität und ihren Eigenschaften dem aktuellen Zeitgeist entsprechen.

Der Wettstreit um den scheinbar besten Sound, derzeit „Loudness War“ genannt, stößt die Musik zum einen immer mehr an das technische Limit, zum anderen auch an die Grenze der Ästhetik. So birgt die aktuelle Entwicklung vor allem im Hörfunk ihre Probleme. Die verschiedenen Radiosender müssen zum einen das aktuelle Musikempfinden transportieren können, um im Vergleich mithalten zu können, andererseits aber ein eigenes spartenspezifisches Profil entwickeln. Die unterschiedlichen Musiktitel sollen innerhalb einer Sendung möglichst denselben Charakter aufweisen und ein homogenes Gesamtbild erzeugen. Hierzu dürfen sich alte Musiktitel nicht zu deutlich von aktueller Musik unterscheiden, weshalb die Musik alter Tage technisch aufgearbeitet und neue Musik etwas „im Zaum“ gehalten werden muss. Weiter muss in einem gemeinsamen Kontext einer Radiosendung natürlich die Sprache eines Moderators berücksichtigt werden. Bei zunehmender Lautheit der gesendeten Musik fällt es heute schwer, der Sprache genügend dynamischen, emotionalen und ästhetischen Raum zu geben, damit sie sich durchsetzen kann.

In dieser Arbeit werden verschiedene Aspekte beleuchtet, die die Entwicklung der Lautheit von Musiktiteln mit besonderem Augenmerk auf die Anwendung im Radio mit sich bringt. Zunächst werden die Ursachen und Probleme von Lautheitsunterschieden in einem gemeinsamen Sendungskontext zwischen Sprache und Musik und unterschiedlich produzierten Musiktiteln theoretisch aufgezeigt und analysiert. Es werden zudem konkrete aktuelle Lösungsansätze aus der Praxis diskutiert und eine neue Methode unter Verwendung eines Soundprozessors vom Typ Dolby DP600 vorgestellt. Das Gerät wird mit Soundprozessoren von Jünger Audio und Orban verglichen und die jeweiligen Vor- und

[1] Ich danke allen Mitarbeitern vom SWR, die mir beim Erstellen dieser Arbeit mit Rat und Tat zur Seite standen. Besonderer Dank gilt dabei Johannes Steuer, Agnes Stitzenberger, Matthias Fischer und Rolf Knapp. Mein persönlicher Dank gilt meiner Familie für Ihre Hilfe und Unterstützung.

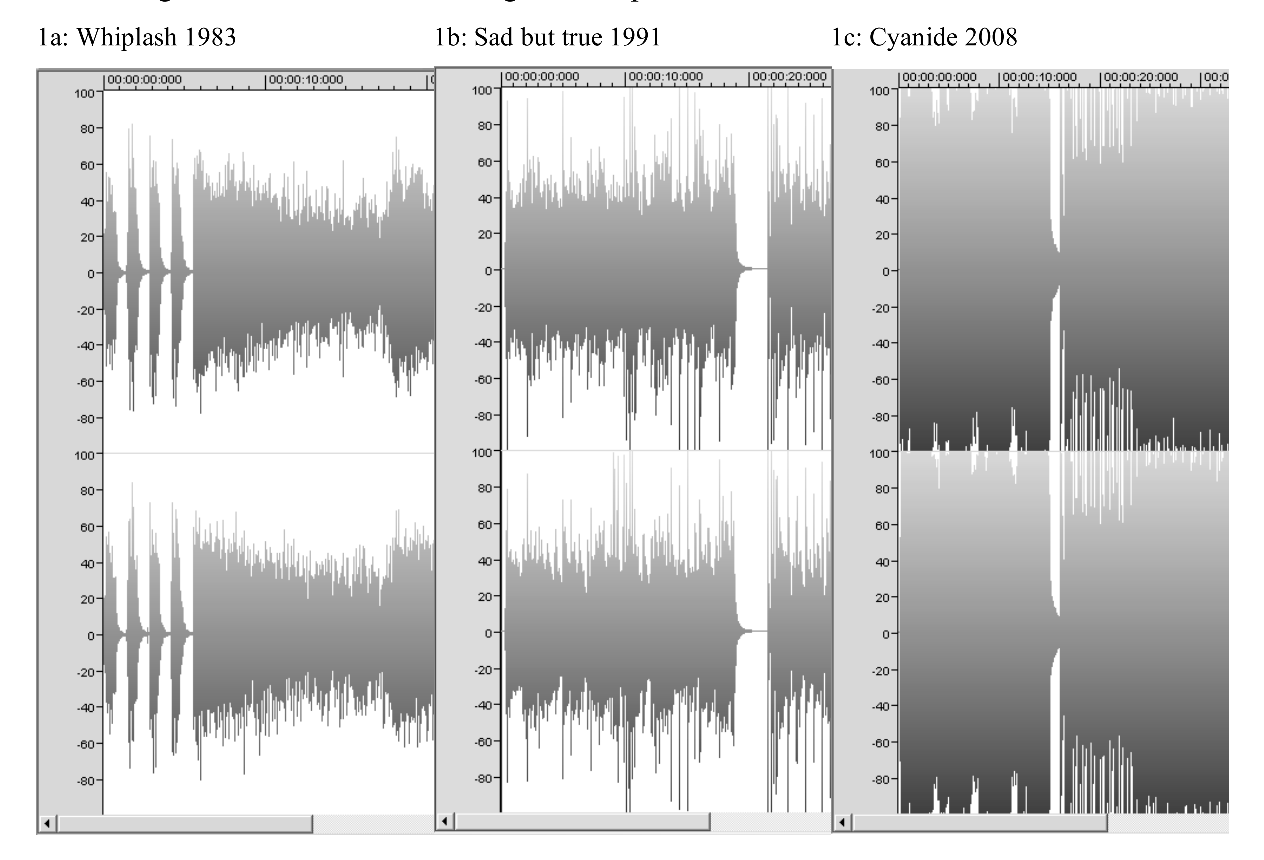
Nachteile aufgezeigt. Die allgemeine Fragestellung dieser Arbeit lautet demnach: Welche Probleme bringt die Entwicklung der Lautheit von Musiktiteln mit sich und wie lauten geeignete technische Möglichkeiten zur Lösung dieser Probleme unter besonderer Berücksichtigung der Anwendung für den Hörfunk?

Um die mit den Fragen verknüpften Aspekte bearbeiten zu können, werden zunächst in einem theoretischen Teil (Abschnitt 2) der Begriff der Lautheit definiert und die allgemeinen Ursachen und Probleme von Lautheitsunterschieden aufgezeigt, wobei in den Unterpunkten detailliert auf psychoakustische Grundlagen (2.1), technische Aspekte der Lautheit (2.2) und psychologische Ursachen und Wirkungen bei der Wahrnehmung von Lautheitsunterschieden (2.3) eingegangen wird. In Abschnitt 3 wird vorgestellt, wie sich die Probleme in der Praxis zeigen und welche Anforderungen an den Hörfunk gestellt werden. In Abschnitt 4 werden sodann technische Lösungsansätze für den Hörfunk erläutert. Im Detail wird dabei das Soundprocessing durch den Jünger d07 (Abschnitt 4.1) und den Optimod-FM 8200 (4.2) besprochen und deren Funktionsweise und deren praktische Einbindung in den Sendeablauf aufgezeigt. Auf selbige Art wird eine bisher neue Lösungsmöglichkeit mit einem Dolby DP600 vorgestellt und besprochen (4.3). In Kapitel 5 werden die drei Lösungsansätze anhand verschiedener Kriterien verglichen. Teil dieser Kriterien ist ein Hörtest in Form einer Pilotstudie. Im Fazit (Kapitel 6) werden abschließend alle Kapitel noch einmal zusammengefasst und ein Ausblick der weiteren Entwicklung und Möglichkeiten gegeben.

2 Grundlagen zur Lautheit

Im Zusammenhang von heutiger Musik mit Lautheit spricht man auch vom „Loudness War", in dessen Ursprung die Hörfunksender versucht haben, durch Anhebung der Lautheit die Aufmerksamkeit der Hörer zu erhalten (vgl. Levine 2007: 1). Aber parallel hat auch die Entwicklung der Musik der letzten Jahrzehnte an Lautheit zugenommen (vgl. Abbildung 1). Die Annahme der Musik- und Werbeindustrie lautet, dass je höher der Schalldruckpegel ist, desto besser ist auch die subjektive Hörbarkeit der Musik selbst in lauten Umgebungen. Zudem liegt dem „Loudness War" wohl auch die Annahme zugrunde, dass ein lautes Signal vom Hörer als subjektiv besser empfunden wird.

Abbildung 1: Lautstärkeentwicklung am Beispiel von Metallica



Der „Loudness War" führt dazu, dass sehr oft die technischen Limits der Produktionen und der Abspielgeräte bei den Konsumenten erreicht oder sogar überschritten werden. Digitales „Clipping", also ein Beschneiden des Signals in den oberen und unteren Signalspitzen als Folge von Übersteuerung oder Verzerrungen sind die Folgen. Da sich Musiker und Produzenten von anderen abheben oder mit aktuellen erfolgreichen Produktionen messen

wollen, ist eine Art Wettrüsten die Folge. Dieser Umstand stößt bei diversen Künstlern (Dylan, Levitin, Bendeth) auf große Abneigung, die moderne Musik als emotionslos, monoton, statisch oder undefiniert bezeichnen (vgl. Levine 2007: 1f.). Folgen dieser Entwicklung sind demnach zunehmende Dynamikeinbußen, d.h. der Unterschied zwischen dem leisesten und dem lautesten Pegelereignis wird immer geringer. Ermöglicht wird dies auch durch die fortschreitende Technik: So liegt das technische Limit vor der Verzerrung, die Lautheit betreffend, beispielsweise bei CD´s weitaus höher als noch auf Vinyl. Ironischerweise wurde die CD ursprünglich bevorzugt, da sie einen größeren Dynamikumfang bietet, welcher aber im Zuge des „Loudness War“ nicht genutzt wird (vgl. Henle 2001: 271).

Lautheit als eine Herausforderung für den Hörfunk

Der Hörfunk und die Werbeindustrie haben sich in der Lautheit zunehmend gesteigert, um, wie auch die Musikproduktionen selber (vgl. Levine 2007: 1f.), subjektiv besser bei den Rezipienten anzukommen und sich von der Konkurrenz abzuheben. Es kann aber nicht einfach der Pegel am Ausgang des Senders erhöht werden. Es muss darauf geachtet werden, dass im Sendungsablauf alle Musikstücke nahezu gleich laut erscheinen und es keine Schwankungen in der Lautheit gibt. Damit beispielsweise ältere Titel im Vergleich zu neueren Titeln in der Lautheit nicht abfallen, und ein ständiges Nachregeln am Radio nötig ist, ist es für den Hörfunk notwendig, diese über verschiedene Methoden (siehe Kapitel 4) aufzubereiten. Vor allem in Rock- und Popsendern müssen die Unterschiede von alten Liedern im Vergleich zu neuen aufgefangen werden, aber auch Klassiksender müssen die sehr großen Dynamikunterschiede, die sogar innerhalb eines Stückes auftreten, so kompensieren, dass alles hörbar bleibt.

Eine weitere Aufgabe, der sich der Hörfunk im Zusammenhang mit der steigenden Lautheit stellen muss, ist die Notwendigkeit, die Sprecherstimme in einen Sendungsablauf zu integrieren. Zwar bestehen die meisten Sendungen vor allem aus Musik (ca. 70%), dennoch nehmen Sendestrecken wie Nachrichten, Verkehrsfunk, Moderation und Hörspiele einen wichtigen Platz im Hörfunk ein. Durch immer lauter werdende Konkurrenz, Musik und Werbung, hat der „Lautheitskrieg“ Auswirkungen auf die Moderation der Sprecher. Bei unbearbeiteter Stimme ist anzunehmen, dass der Sprecher bewusst oder unbewusst lauter spricht, um im Vergleich zur Musik nicht abzufallen, was letztlich großen Einfluss auf die emotionale Wirkung des Sprechers hat. Da die menschliche Stimme von Natur aus eines der

Instrumente mit dem höchsten Dynamikumfang ist, ist es für den Hörfunk unvermeidbar, vor allem auch an ihr technische Bearbeitung vorzunehmen, um ihr genügend Raum in den Frequenzen zu geben und sie ständig hörbar zu machen. Lautheitsunterschiede können aber auch durch Regionalisierung verursacht werden, indem für unterschiedliche Regionen unterschiedliche Sendestrecken gesendet werden müssen. Dies betrifft z.B. regionale Nachrichten oder Verkehrsfunk, die meist bezüglich ihres Lautheitswerts nicht optimal aufeinander abgestimmt sind.

Nach dieser groben Skizzierung der Problemstellung des „Loudness War“ soll in den nachfolgenden Abschnitten näher auf psychoakustische Grundlagen (2.1), technische Aspekte der Bearbeitbarkeit und Messung der Lautheit (2.2) und psychologische Faktoren (2.3) eingegangen werden, bevor im weiteren Verlauf der Arbeit mögliche Lösungsansätze erläutert und miteinander verglichen werden können.

2.1 Psychoakustische Grundlagen der Lautheit

Das menschliche Gehör wandelt Schallschwingungen in Nervenimpulse um. Abhängig von Frequenz, Schalldruckpegel und zeitlichem Verhalten des Schallereignisses wird die Lautstärke unterschiedlich verarbeitet und interpretiert. Ein Schall wird von schwingenden Luftmolekülen erzeugt, welche Luftdruckänderungen zur Folge haben. Diese relativen Luftdruckänderungen, die der Atmosphäre überlagert sind, werden Schalldruck genannt. Der Schalldruckpegel hat die Einheit Pascal und gibt den Schalldruck an, den man mit dem Ohr wahrnehmen kann. Da dieser Bereich enorme Schalldruckunterschiede aufweist und das menschliche Hörvermögen nicht linear verläuft, wurde eine logarithmische Angabe des Schalldrucks eingeführt, dem als Bezugsschalldruck $2 * 10^{-5}$ Pa zugrunde liegt. Dieser absolute Schalldruckpegel hat die Einheit dB. Ein Schalldruck von $2 * 10^{-5}$ Pa entspricht einem Schalldruckpegel von 0 dB (vgl. Henle 2001: 28 f.). Der Lautstärkepegel ist eine physikalisch messbare Größe mit der Einheit Phon, welche angibt, welchen Schalldruckpegel ein Ton haben müsste, um genauso laut empfunden zu werden wie ein 1 KHz Referenzton. In verschiedenen Hörversuchen mit Testpersonen wurden die niedrigste und höchste wahrnehmbare Frequenz, kleinster unterscheidbarer Tonhöhenunterschied, kleinster unterscheidbarer Richtungsunterschied und kleinster unterscheidbarer zeitlicher Abstand gemessen und in Skalen abgeleitet (vgl. z.B. Zwicker/ Feldkeller 1967). Für diese Skalen wurden psychoakustische Größen wie Lautheit und Tonheit definiert. Die Psychoakustik beschreibt den Zusammenhang von der menschlichen Hörempfindung mit physikalischen

Größen als Schallereignis. Beispiele für psychoakustische Größen sind Lautheit, Tonheit, Schärfe[2] und Rauigkeit[3] (vgl. Zwicker/ Feldkeller 1967).
Die Lautheit wird in der Einheit Sone gemessen und ist eine Größe, mit der versucht wird, das Lautstärkeempfinden des menschlichen Gehörs abzubilden und zu beschreiben. Da Lautheit eine subjektive akustische Empfindungsgröße ist, hat sie eine sehr große Toleranz und ist keine tatsächliche Messgröße. Sone ist 1936 nach dem Vorschlag von Stanley Smith Stevens die Maßeinheit der subjektiven Lautheit eines Klangs (vgl. Hellbrück 1982: 56). Bei einem Sinuston mit der Frequenz von 1 KHz entspricht 1 Sone einem Lautstärkepegel von 40 Phon (vgl. hierzu auch die nachfolgende Abbildung 2).

Bestimmungsfaktoren der Lautheit

Die subjektiv empfundene Lautheit hängt von mehreren Faktoren ab. Zu den wichtigsten zählen:
a) Lautstärkepegel
b) Tonhöhe
c) Schalldauer
d) Störsignale, Verdeckung und Maskierung
Auf diese Faktoren soll nachfolgend im Einzelnen kurz eingegangen werden.

zu a) Lautstärkepegel

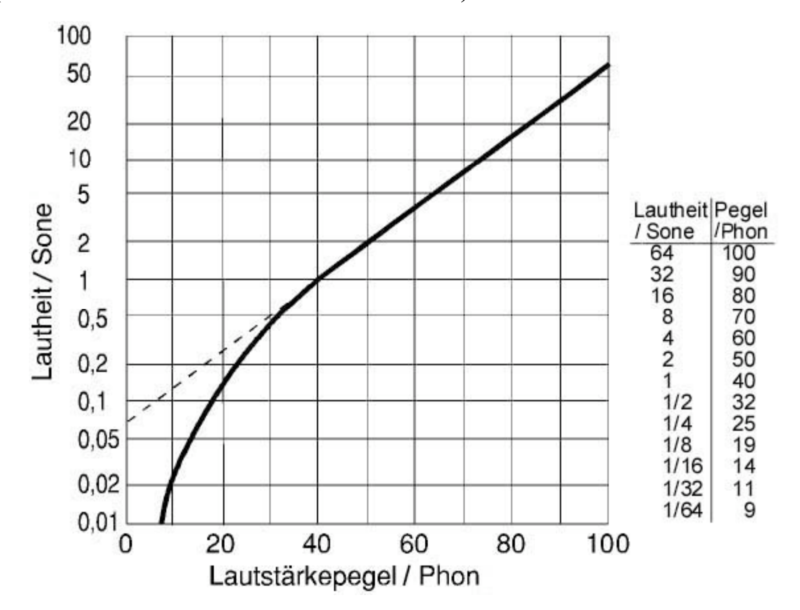
Der Lautstärkepegel ist ein maßgeblicher Einflussfaktor der Lautheit. Wie Abbildung 2 entnommen werden kann, führt in hohen Bereichen eine Erhöhung des Lautstärkepegels um 10 Phon zu einer Verdopplung der Lautheit, während in niedrigen Bereichen des Lautstärkepegels kleine Erhöhungen reichen, um zu einer Verdopplung der Lautheit zu führen. Bei 0 Sone spricht man von der Ruhehörschwelle, dem geringsten Pegel, der gerade wahrgenommen werden kann.

---

[2] Die Schärfe versucht das Verhältnis aus tiefen und hohen Tönen eines akustischen Signals zu beschreiben und ist wesentlich für die Klangfarbenbeurteilung. Wird einem Rauschen mit 1 KHz ein tiefer Schall hinzugefügt, wird das Schallereignis als angenehmer und weniger störend empfunden. Die Lautstärke erhöht sich zwar, aber die Schärfe ist geringer. Einheit der Schärfe ist das Acrum (vgl. Ulrich/ Hoffmann 2007: 477).

[3] Die Rauigkeit ist eine Größe für die Hörempfindung mit der Einheit Asper. Fluktuationen verursachen Amplitudenschwankungen, welche als rau oder unangenehm empfunden werden (vgl. Ulrich/ Hoffmann 2007: 475). Wenn zwei Töne mit selbem Pegel aus benachbarten Frequenzen monaural gehört werden, verschmelzen sie zu einem gemeinsamen Ton, welcher sich durch die unterschiedliche Phasenlage im Pegel ständig verstärkt oder abschwächt. Dieser sich periodisch ändernde Lautstärkeeindruck wird Schwebung genannt (vgl. Ulrich/ Hoffmann 2007: 475). Wenn der Unterschied beider Frequenzen größer 5% wird, verschwindet die Schwebung, aber ein Rauigkeitseindruck bleibt. Erhöht man die Frequenzdifferenz weiter, werden die beiden Töne zunächst rau wahrnehmbar. Erst bei Überschreitung der Bandgrenze verlieren die Töne ihre Rauigkeit und werden glatt und angenehm. Bei binauralem Hören verschwinden die Rauigkeit und die Schwebung.

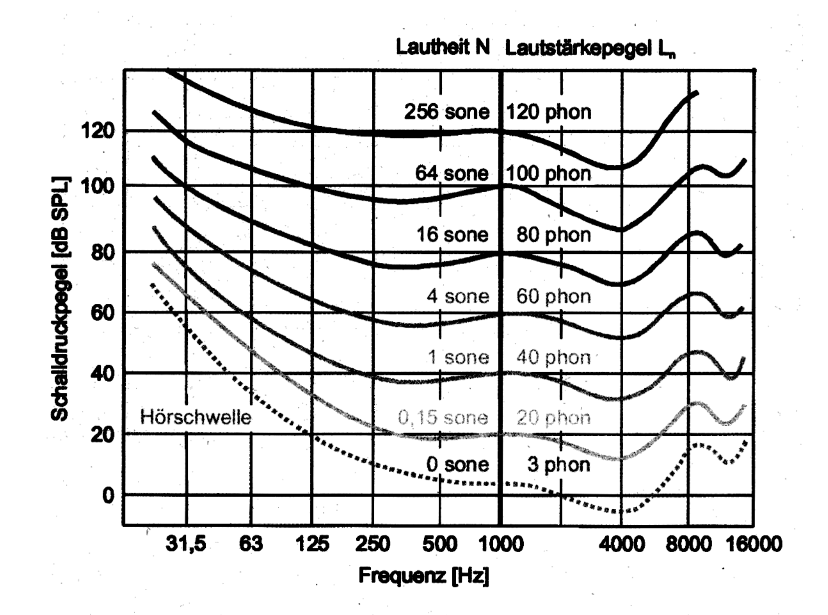
Abbildung 2: Zusammenhang zwischen Lautheit N in Sone und Lautstärkepegel Ln in Phon (nach Zwicker/ Feldkeller 1967: 128)



zu b) Tonhöhe

Da die Lautheitswahrnehmung des menschlichen Gehörs aber auch frequenzabhängig ist, sind bei anderen Frequenzen andere Schalldruckpegel (vgl. Abbildung 3) erforderlich, um dieselbe Lautstärkeempfindung zu erreichen. Die vom menschlichen Gehör wahrnehmbaren Frequenzen liegen allgemein zwischen 20Hz und 20kHz. Um die Ruhehörschwelle zu erreichen, sind bei tiefen und hohen Frequenzen höhere Schalldruckpegel notwendig als bei ca. 4KHz, wo die größte Empfindlichkeit des menschlichen Gehörs liegt. Aus anatomischen Gründen ist die Hörschwelle bei Frauen und Männern unterschiedlich. Vor allem bei hohen Frequenzen liegt die Hörschwelle von Frauen bei niedrigeren Pegeln (vgl. Ulrich/ Hoffmann 2007: 459).

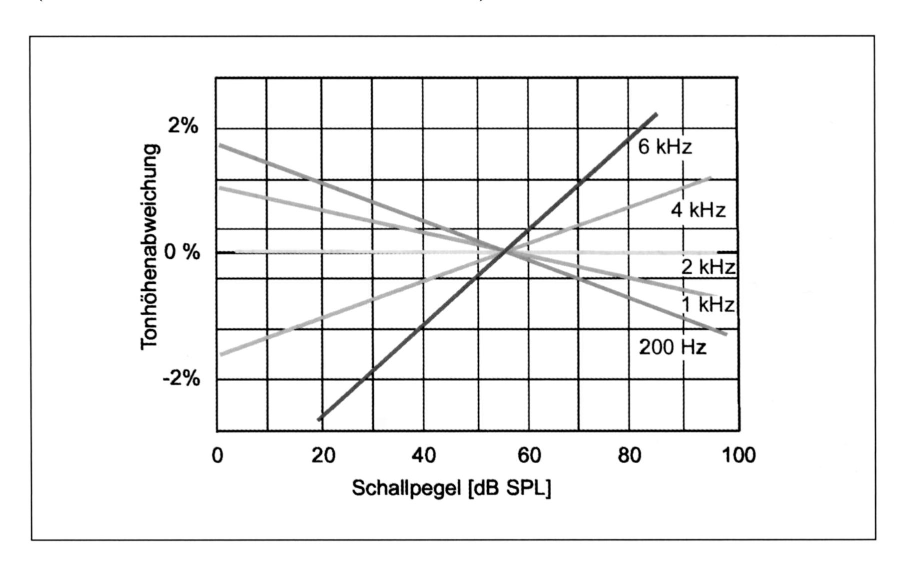
Abbildung 3: Kurven gleicher Lautstärke (nach Ulrich/ Hoffmann 2007: 460)



In Abbildung 3 entspricht jede Kurve gleicher Lautstärke einem Lautstärkepegel. Bei 1 kHz stimmen die Werte von Lautstärkepegel und Schalldruckpegel überein. Die Hörschwelle liegt bei etwa 4 Phon und nicht bei 0 Phon, da als Bezugsschalldruck der Wert $2 * 10^{-5}$ Pa gewählt wurde. Dem Verlauf der Kurven gleicher Lautstärke kann entnommen werden, wie sich die Lautstärke auf die empfundene spektrale Zusammensetzung auswirkt. Bei geringer Lautstärke hat beispielsweise Musik scheinbar weniger Höhen und Tiefen, und bei größerer Lautstärke relativ gesehen scheinbar weniger im Mittenbereich. In Stereo-Anlagen wird versucht, mit der manuell zuschaltbaren Loudness-Funktion diesem Effekt entgegen zu wirken, indem versucht wird, diese Frequenzabhängigkeit zu kompensieren.

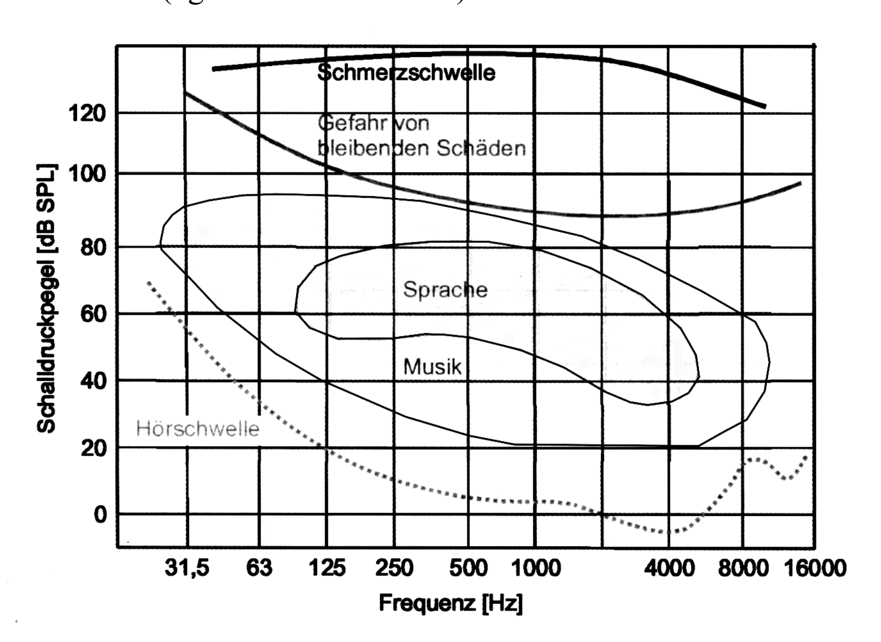
Der Schallpegel und die Tonhöhe sind Faktoren, die sich also gegenseitig beeinflussen. Die wahrgenommene Lautstärke ist abhängig von der Frequenz und umgekehrt ändert sich die Tonhöhenwahrnehmung mit der Lautstärke. Dieser Effekt wird Tonhöhenparadoxon genannt. Bei zunehmendem Schalldruck werden hohe Töne konstanter Frequenz höher und tiefe Töne konstanter Frequenz tiefer wahrgenommen (vgl. Abbildung 4). Im Bereich von 500 Hz bis 4 kHz bleibt die Tonhöhenwahrnehmung konstant. Ein Störschall führt ebenfalls zu einer Tonhöhenverschiebung, wenn der Testton zwar gedrosselt aber nicht komplett verdeckt wird.

Abbildung 4: Empfundene Tonhöhenwahrnehmung in Abhängigkeit von Frequenz und Pegel (nach Ulrich/ Hoffmann 2007: 468)



Die so genannte Hörfläche verdeutlicht den Bereich zwischen Ruhehörschwelle, also den Bereich, in dem ein Schalldruckpegel gerade noch ein Hörereignis hervorruft, und der Schmerzgrenze, d.h. dem Bereich, in dem Pegel im Gehör schmerzen verursachen oder bleibende Schäden zurücklassen (vgl. Zwicker, E./Feldkeller, R. 1967: 34). Mit der Hörfläche kann also zum Einen der Bereich abgebildet werden, in dem das menschliche Gehör arbeitet, und zum Anderen die Bereiche von Musik und Sprache (Abbildung 5).

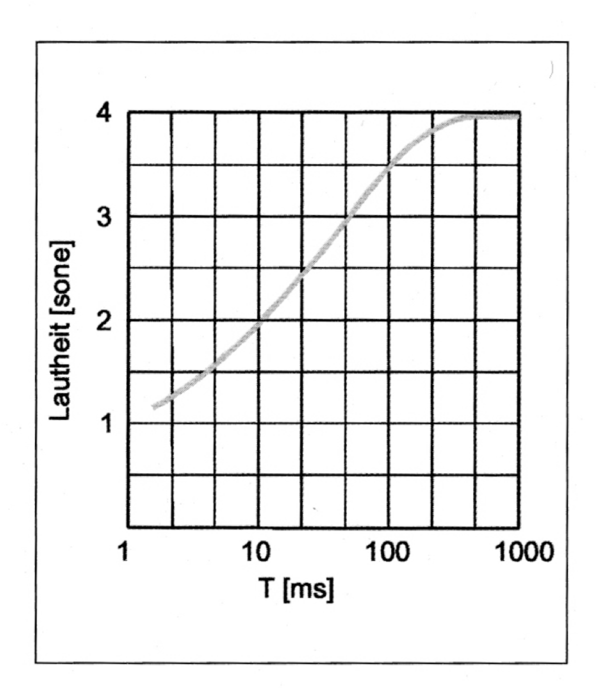
Abbildung 5: Hörfläche (vgl. Zwicker 1982: 34)



zu c) Schalldauer

Die Lautheitsempfindung ist neben Lautstärkepegel und Frequenz auch von der Dauer des Schalls abhängig. Wie Abbildung 6 verdeutlicht, nimmt die Lautheit ab einer Schalldauer von 200 ms nicht mehr zu, während bei kürzeren Schallereignissen, wie etwa einem Knall, die Lautheitsempfindung abnimmt (vgl. Ulrich/ Hoffmann 2007: 462).

Abbildung 6: Zusammenhang zwischen Signaldauer und Lautheitsempfindung nach Zwicker (Ulrich/ Hoffmann 2007: 462)



zu d) Störsignale, Verdeckung und Maskierung

Die Hörbarkeit eines Schalls ist natürlich auch abhängig von der Umgebung, in der sich eine Person befindet. Störsignale beeinträchtigen die Wahrnehmung von Schallereignissen durch die so genannte Verdeckung, wodurch Signale nicht wahrgenommen werden können, obwohl sie vorhanden sind, oder in ihrer Lautstärkeempfindung gedrosselt werden (auch Maskierung genannt). Bei einem Sinuston von 1 kHz überlagert mit weißem Rauschen, bei dem Dichte und Amplitude über den gesamten Frequenzbereich konstant sind, muss der Schalldruckpegel deutlich höher sein, um wahrgenommen werden zu können. Die Verdeckung ist von Frequenz und Pegel des Störsignals abhängig. Die Mithörschwelle gibt dabei an, welcher Schalldruckpegel notwendig ist, um neben dem Störschall gerade wahrgenommen werden zu können. Bei einer Verdeckung durch weißes Rauschen liegt die Mithörschwelle weit über der Ruhehörschwelle und steigt zwischen 500 Hz und 10 KHz kontinuierlich an. Dies liegt daran,

dass das Ohr ein breitbandiges Spektrum in verschiedene Abschnitte, auch Frequenzgruppen genannt, zusammenfasst und analysiert. „Diese Analysefilter haben bis zu einer Mittenfrequenz von 500 Hz eine konstanta Bandbreite von 100 Hz. Bei höheren Frequenzen beträgt die Bandbreite ca. 20% der Mittenfrequenz.“ (Heckl/ Müller 1994: 92). Das führt dazu, dass der Testtonpegel in zunehmend breiteren Frequenzgruppen zunehmend höher sein muss, um die Mithörschwelle zu erreichen, da die Schallintensität des Frequenzbandes dieser Frequenzgruppen mit zunehmender Breite steigt.

Auch bei Einzeltönen als Störsignal, mit kleinerer Schallenergiedichte als beim weißen Rauschen, treten Verdeckungen auf (Abbildung 7), die vor allem weit in den höheren Frequenzbereich reichen, während tiefere Frequenzen vom Störton weniger bzw. nicht verdeckt werden (vgl. Ulrich/ Hoffmann 2007, 463). Neben der Verdeckung, die zeitgleich mit dem Störgeräusch einher geht (Simultanverdeckung), lässt sich aus dem zeitlichen Verlauf einer Verdeckung die Vor- und die Nachverdeckung abzeichnen (vgl. Abbildung 8). Die Vorverdeckung mit einer Länge von bis zu 20 ms ist eine Verdeckung, die zeitlich vor dem Störereignis liegt. Dies ist durch Latenzzeiten der Nervenbahnen und des Gehirns zu erklären. Die Nachverdeckung kann bis zu 200 ms lang sein und beeinflusst Signale nach dem Ende eines Schallereignisses, da das Gehör eine bestimmte Zeit braucht, um sich zu erholen und die Empfindlichkeit wieder zu erlangen.

Abbildung 7: Verdeckung durch 1 KHz Ton für unterschiedliche Pegel nach Zwicker (Ulrich/ Hoffmann 2007: 463)

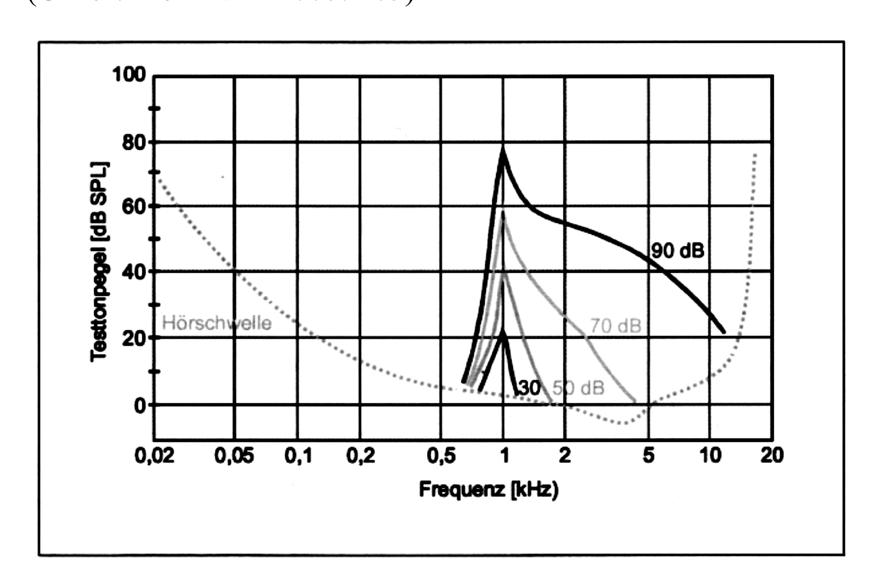
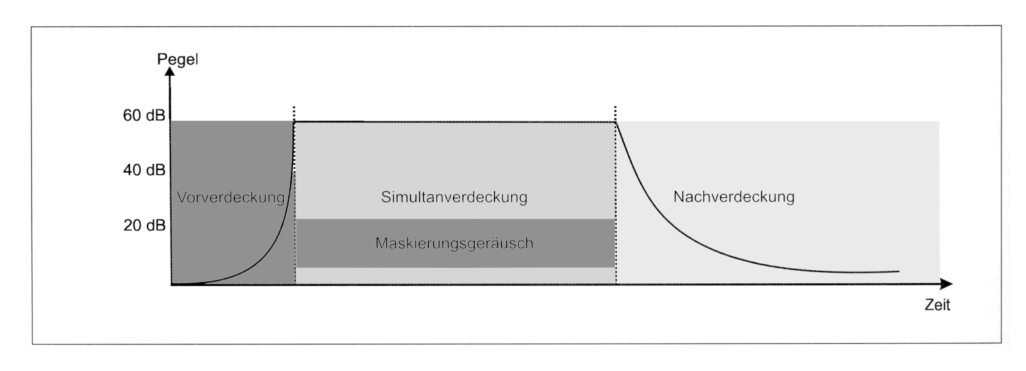


Abbildung 8: Zeitliche Verdeckung (nach Ulrich/ Hoffmann 2007: 464)



Einen sinnvollen Nutzen findet die Verdeckung in der Audiokompression. So werden z.B. bei der MP3-Codierung Signale, die durch zeitliche als auch simultane Verdeckungseffekte unhörbar sind, nicht gespeichert oder übertragen, wodurch sich die Datenrate reduzieren lässt. Daten unterhalb der Hörschwelle müssen für die Codierung ebenfalls nicht berücksichtigt werden. Für die Lautheit spielt die Verdeckung auch eine Rolle. So verursachen beispielsweise zu stark betonte Bässe eine Verdeckung im hochfrequenten Nutzsignal, z.B. der Sprache.

Sprachverständlichkeit und Lautheit

Vor allem für die Sprachverständlichkeit sind Verdeckungseffekte durch Stör- oder Fremdgeräusche ein Problem. Für normalhörende Menschen kann das Sprachsignal bis zu ca. 5 dB leiser als das Störgeräusch sein (vgl. Ulrich/ Hoffmann 2007: 481). Dies betrifft also im Hörfunk die Sendestrecken, in denen der Moderator über laufende Musik spricht, aber auch die Störgeräusche aus lauten Umgebungen, wie z.B. Verkehrslärm, Baustellenlärm oder Stimmengewirr. Solche Umgebungen haben Einfluss auf die Verständlichkeit eines Radiosprechers und die Qualität der Musik.

Die Sprachverständlichkeit, also die Verständlichkeit von Silben, Wörtern und Sätzen, hängt aber noch von anderen Faktoren ab. So spielen laut Ulrich und Hoffmann verschiedene Faktoren wie Stimme und Sprechweise, dem Hörvermögen des Hörers und dessen Beziehung zum Inhalt des Gesprochenen eine Rolle in der Sprachverständlichkeit. Weiter kann allgemein davon ausgegangen werden, dass Wort- und Satzverständlichkeit besser sind als Silbenverständlichkeit, da das Gehirn bei Wort und Satz schon aus Fragmenten sinnvolle Bedeutungen ermitteln kann (vgl. Ulrich/ Hoffmann 2007: 479). Sprache ist ein sehr dynamischer Klangerzeuger und besteht aus einer Folge von harmonischen Klängen, Geräuschen und deren Kombinationen. So sind Vokale und Konsonanten durch ihren Formantbereich stimmhafte Klänge, Zisch- und Explosivlaute mehr geräuschartig mit

Frequenzen, die sogar über die Hörgrenze reichen (vgl. Henle 2001: 34). Die Grundfrequenz der Stimmbandschwingung liegt bei Männern zwischen 120 Hz und 160 Hz, und bei Frauen bei 220 Hz und 330 Hz.

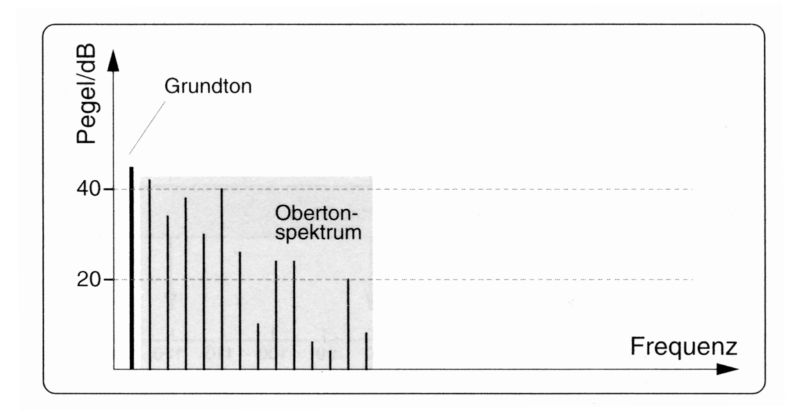
Eine wesentliche Rolle für die Sprachverständlichkeit ist die Nachhallzeit in Räumen. Dies betrifft im Hörfunk weniger die Verständlichkeit eines Sprechers, da in den Moderationskabinen raumakustisch dafür gesorgt wird, dass wenig Hall entsteht. Allerdings wird in Hörspielen, die auch im Radio gesendet werden, mit Hall gearbeitet, um örtliche Umgebungen wie beispielsweise Höhlen oder Kirchen so echt wie möglich zu simulieren. So kann der zu lange Nachhall einer Silbe die folgende Silbe verdecken, und ein Störgeräusch für das Ohr darstellen. Bei der Reduzierung des Nachhalls muss aber darauf geachtet werden, dass der mittlere Lautstärkepegel, der unmittelbar mit der Lautheit zusammenhängt, sinkt. Auch muss darauf geachtet werden, dass genügend hohe Frequenzen im Sprachsignal vorhanden sind, da diese für das Erkennen von Konsonanten wichtig sind. Bei einer Betonung von tiefen Frequenzen würden diese Frequenzanteile verdeckt werden, weshalb diese Frequenzanteile nur vorsichtig angehoben werden können.

Klangfarbe, Tonheit und Lautheit

Im Gegensatz zu den in experimentellen Versuchen verwendeten Testtönen bestehen die meisten Schallereignisse aus der alltäglichen Umgebung aus Klängen, also einem Schall aus Grund- und Obertönen. Musikinstrumente als Schallquelle erzeugen Klänge mit einer Grundschwingung und harmonischen Oberschwingungen, welche sich über die Zeit verändern (vgl. beispielhaft die nachfolgende Abbildung 9 für den Fall eines Flügels). Diese werden in einem individuellen Verhältnis von der Bauweise und dem Material eines Instrumentes bestimmt. Die Obertöne sind dabei ein ganzzahliges Vielfaches der Grundfrequenz und verschmelzen bei einem stationären Signal miteinander. Der stationäre Bereich eines Klangs liegt zwischen der Ein- und Ausschwingphase eines Instrumentes und unterliegt einer ständigen Veränderung der Teiltöne. Durch den Pegel der Obertöne werden in der stationären Phase die Klangfarbe und die Lautheit des Instrumentes erzeugt. Die Grundschwingung spielt dabei für die Lautheit keine Rolle, da sie über den kompletten Lautstärkebereich eines Instrumentes konstant bleibt. Durch die Bauweise werden Formanten (Frequenzbereiche im Spektrum eines Klangs) erzeugt, die über den gesamten Tonumfang des Instrumentes konstant sind und die Charakteristik eines Instrumentes beeinflussen (vgl. Henle 2001: 32). Durch synthetische Wahrnehmung entstehen eine Tonhöhenempfindung und ein

Gesamtklang, wobei geschulte Ohren durch analytisches Hören verschiedene Stimmen oder Instrumente verfolgen können.


Abbildung 9: Klangspektrum eines Flügels (nach Henle 2001: 30)



Der psychoakustische Begriff Tonheit beruht auf dem Modell der bereits erwähnten Frequenzgruppen (Kritische Bänder), da das Ohr den Lautstärkeeindruck in verschiedenen Frequenzbereichen zusammenfasst. Es können 24 sog. „Kritische Bänder" zusammengefasst werden (Fastl/ Zwicker 2007: 227). Aus Hörversuchen, in denen mehrere Töne einer Frequenzgruppe präsentiert werden, ergibt sich, dass die Pegel innerhalb der Frequenzgruppe aufsummiert werden, während die Pegel außerhalb dieser Frequenzgruppenbreite für dieses Kritische Band keine Rolle spielen. Zum Beispiel führen zwei Töne mit -3 dB oder vier Töne mit -6 dB innerhalb einer Frequenzgruppe zu einem Summenpegel von 0 dB. Die unterschiedlichen Frequenzbänder wurden nach Barkhausen in der Barkskala aufgeführt (vgl. Ulrich/ Hoffmann 2007: 469).

Musik besteht aus sehr vielen verschiedenen Frequenzen und unterliegt somit im kompletten hörbaren Frequenzbereich der Tatsache, dass jede einzelne Frequenz unterschiedlich laut wahrgenommen wird und sich die Frequenzen gegenseitig beeinflussen. Der Hörfunk muss diesem Problem also begegnen, um die Musik- und Sprachbeiträge durch eingespielte O-Töne aus dem kompletten Pool (Datenbank an Musiktiteln eines Senders), der in einem gemeinsamen Sendungskontext verwendet wird, einheitlich wirken zu lassen.
Daher muss im folgenden Abschnitt 2.2 sowohl auf die grundsätzliche technische Bearbeitbarkeit von Lautheit als auch auf die messtechnische Erfassung dieser eingegangen werden. Dies gilt dann als Grundlage für die in Kapitel 4 diskutierten Lösungsansätze für den Hörfunk.

2.2 Technische Aspekte der Lautheit

Um Lautheitsunterschiede zu vermeiden, ist es möglich, eine technische Bearbeitung der Signale vorzunehmen. Zum Einsatz kommen dabei vor allem Regelverstärker wie Kompressoren und Limiter, deren Funktionsweise in Abschnitt 2.2.1 kurz erläutert wird. Anschließend wird in Abschnitt 2.2.2 die grundlegende Messtechnik von Lautheit behandelt.

2.2.1 Kompressoren, Limiter und Expander

Kompressoren und Limiter[4] engen den Dynamikumfang des Signals ein, indem leise Inhalte verstärkt und ab einem so genannten Threshold laute Inhalte im Verhältnis gedämpft werden, wodurch das gesamte Signal näher an das Limit angehoben werden kann (Abbildung 10).[5] Durch Kompression kann die subjektive Lautstärke also angehoben werden, da das Ohr die Lautstärke von Musik und Sprache anhand des durchschnittlichen Pegels bewertet (vgl. Henle 2001: 272). Zudem wird damit auch versucht, bei den Hörern eine größere Aufmerksamkeit zu erreichen (vgl. Keith 1993: 238). Radiosender nutzen diese Technik, um eine möglichst hohe subjektive Lautheit zu erzeugen und sich somit akustisch gegenüber anderen Sendern durchzusetzen sowie Homogenität innerhalb einer Sendung zu erreichen. Kompression kann zum einen zur Angleichung von Lautheitsunterschieden verwendet werden (vgl. hierzu Kapitel 4), andererseits diese auch zwischen unterschiedlichen Musikproduktionen verursachen.

Compression Ratio

Die Compression Ratio gibt den Anstieg des Eingangssignales an, welcher ein um 1 dB höheres Ausgangssignal zur Folge hat. Bei einer Ratio von beispielsweise 2:1 hat eine Erhöhung des Eingangssignales von 2 dB eine Erhöhung von 1 dB am Ausgang zur Folge. Bei Signalen unterhalb des Threshold ist die Ratio eines Kompressors 1:1, also eine Verstärkung von 0 dB. Wenn die Ratio eines Kompressors größer als etwa 8:1 ist, dann spricht man von einem Limiter.

[4] vgl. Henle (2001: 272-285) bezüglich der folgenden Ausführungen über die grundsätzliche Funktionsweise von Kompressoren und Limitern.

[5] Auf Signalprozessoren, die neben Kompression auch andere Signalbearbeitungen vornehmen, wie beispielsweise dem Optimod, wird in Kapitel 4 detailliert eingegangen. Hier soll es allein um die grundsätzliche Funktionsweise von dynamikbearbeitenden Komponenten gehen.

Abbildung 10: Verstärkungskennlinie eines Kompressors (nach Henle 2001: 273)

Attack- und Release-Time eines Kompressors

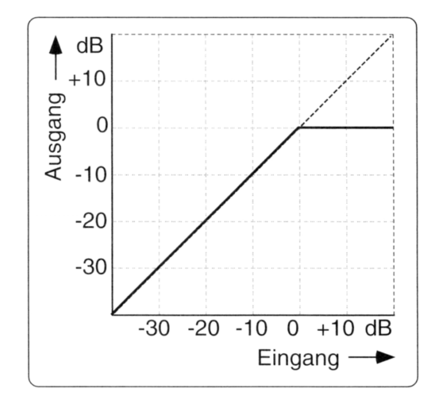
Wichtige Faktoren für das Arbeiten eines Kompressors sind die Attack- und die Release Time, welche die Reaktionsverzögerung des Kompressors bei Unter- bzw. Überschreitung des Threshold bestimmen. Dabei ist die Attack-Time diejenige Zeit, die vergangen ist, bis zwei Drittel der gewünschten Dämpfung erreicht wurden, nachdem das Eingangssignal den Threshold überschritten hat. Die Release-Time gibt dagegen die Zeit an, die nach Unterschreiten des Threshold vergangen ist, bis die Dämpfung des Eingangssignals zwei Drittel des Ursprungswertes erreicht hat. Die Attack-Time kann einen starken Einfluss auf die Lautheit eines Signals haben. Wenn sie beispielsweise so kurz eingestellt wäre, dass jede kurze Signalspitze eine Kompression auslösen würde, dann würde sich der durchschnittliche Pegel verringern, da jede Spitze eine Reduzierung des Gesamtpegels zur Folge hätte. Auch könnte eine zu kurze Attack-Time ein hörbares Knacken erzeugen. Die Release-Time darf ebenfalls nicht zu kurz sein, da es sonst zu einem Pumpen der Musik, der Rauschanteile des Signals oder der Hintergrundgeräusche kommen kann (vgl. Henle H 2001: 275). Beim Pumpen führt ein sehr lauter Pegelanstieg in einer Frequenz zu einer starken Kompression des Gesamtsignals, wodurch z.B. bei jedem Einsatz einer Bassdrum Lautstärkeschwankungen entstehen. Vor allem in elektronischer Musik wird dies gezielt eingesetzt, um periodisches Pumpen zu verursachen.

Kompression und Limiter

Der Breitbandkompressor ist eine allgemein häufig verwendete Variante und kommt vor allem bei der Bearbeitung von Einzelsignalen in Musikmischungen zum Einsatz. Im Hörfunk wird aber vor allem der Multibandkompressor verwendet, da dieser in verschiedenen Frequenzbereichen unabhängig voneinander die Dynamikbearbeitung vornehmen kann.

Durch die Dynamikbearbeitung kann das Gesamtsignal näher an die Maximallautstärke vor der Verzerrung gebracht werden, wodurch das Signal insgesamt lauter wird.
Unerwünschte Signalspitzen, die zum Beispiel eine Übersteuerung in Rundfunkübertragungsleitungen verursachen können, werden durch den Limiter unterdrückt, da dieser das Signal auf einen bestimmten Pegel begrenzt (vgl. Abbildung 11). Grundsätzlich arbeitet ein Limiter nach demselben Prinzip wie ein Kompressor. Der Unterschied ist die größere Ratio, die bei einem Limiter mindestens 10:1 beträgt, oder sogar bis zu Verhältnissen von 100:1 (Clipper) reichen kann. Der Limiter wird vorzugsweise aus übertragungstechnischen Gründen verwendet. Der Threshold, der üblicherweise im Bereich des erlaubten Spitzenpegels liegt, wird vom Ausgangssignal praktisch nicht mehr überschritten, und somit Übersteuerungen durch Pegelspitzen verhindert. Auf die Dynamik hat der Limiter einen eher kleinen Einfluss, da die unterdrückten Pegelspitzen eine vergleichsweise geringe Rolle in der empfundenen Dynamik und Lautstärke spielen. In der Regel soll der Limiter, im Hörfunk auch Sende-Limiter genannt, vor Übersteuerung der Sendeanlagen schützen. Allerdings müssen die Hörfunksender auch darauf achten, dass der Pegel die in Deutschland allgemein geltenden Senderichtlinien nicht verletzt, sodass Limiter eingesetzt werden, um zu laute Spitzen zu verhindern. Es kommt jedoch vor allem im Hörfunk der USA dazu, dass der Limiter *stets* arbeiten muss, damit der Sender ständig voll ausgesteuert ist, um als möglichst laut empfunden zu werden (vgl. Henle 2001: 280).

Abbildung 11: Kennlinie eines Limiters (nach Henle 2001: 279)

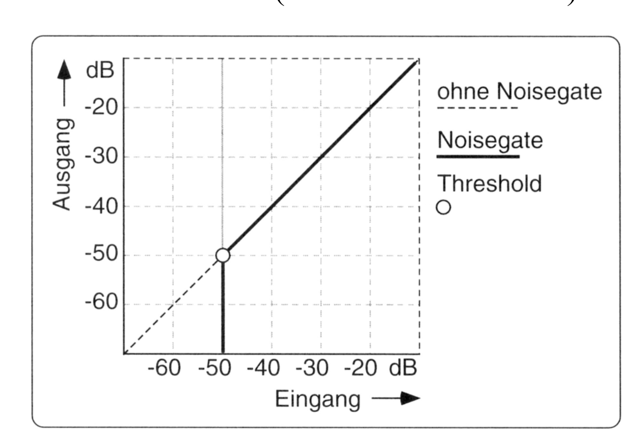


Expander und Noise Gate

Aber nicht nur laute Signale müssen bei der Dynamikbearbeitung berücksichtigt werden. Mit der Verstärkung leiser Anteile werden auch leise Störgeräusche und Rauschen angehoben und besser hörbar gemacht. Diese können bis zu einem gewünschten Pegel mit dem so genannten Noise Gate abgeschnitten werden, um die Verstärkung zu verbessern bzw. möglich zu

machen. Das Gate ist eine Extremform des Expanders mit einer Ratio von 1:10 oder höher, also sehr steilflankig. Ein Expander hat die umgekehrte Funktion eines Kompressors, nämlich eine Vergrößerung der Dynamik durch Verminderung der Verstärkung unterhalb des Threshold. Im Fall des Noise Gate, als Extremvariante des Expanders, wird die Dynamik nicht erweitert, sondern es schaltet Eingangssignale bei Unterschreiten des Threshold sogar praktisch völlig ab, während Signale darüber unbeeinflusst bleiben (vgl. Abbildung 12).

Abbildung 12: Kennlinie eines Noise Gate (nach Henle 2001: 284)



2.2.2 Messtechnik zur Lautheit

Um eine ausgewogene Lautheit zu erreichen, muss die Aussteuerung nachvollzogen werden können, und es ist nötig, diese mit unterschiedlichen Anforderungen messtechnisch zu erfassen. Die Aussteuerung ist eine optimierte Pegelanpassung bezogen auf den Übertragungskanal, und wird durch die Übersteuerungsgrenze und dem Eigenrauschen der technischen Komponenten begrenzt. Für die Erfassung des Signalpegels sind Messgeräte mit kurzen Integrationszeiten (Mittelungszeiten) von Nöten, um kurze Signalspitzen, die vor allem in digitaler Umgebung zu Verzerrungen führen, sichtbar zu machen. Zur Erfassung der Lautheit sind hingegen eher längere Integrationszeiten hilfreich, da kurze Pegelspitzen für die Lautheit eine geringere Rolle spielen, sondern eher die gemittelten Werte der Signalpegel als Maß für den Energiegehalt, also der Lautheit, gesehen werden können. Separate Messgeräte zur Bestimmung von Lautheit haben sich aber nicht durchgesetzt, erst in den letzten Jahren zeichnet sich ab, dass die Erfassung und Kontrolle der Lautheit ein wichtiger Faktor ist und an Bedeutung gewinnt. Aus Gründen der unterschiedlichen Lautheit zwischen den Programminhalten, aber auch aus dem Grund, dass im Hörfunk immer mehr automatisierte Abläufe vorgesehen sind, bei denen die Signale immer weniger auditiv kontrolliert und angepasst werden können, ist es notwendig, die technische Lautheitsmessung und Anpassung

in Sendeabläufe zu integrieren. Da es in diesem Gebiet noch keine festgelegten Normen gibt, weichen die Messergebnisse von unterschiedlichen Lautheitsmessgeräten voneinander ab, da sie auf unterschiedlichen Modellen zur Lautheitsbestimmung basieren. Deshalb arbeitet zum Beispiel die EBU-Projektgruppe P/Loud an Richtlinien und deren Umsetzung in Sendeanstalten. Nachfolgend werden die derzeit wichtigsten Messverfahren kurz erläutert.

PPM und VU-Meter

Die so genannten „Peak Programme Level Meter“ (PPM) messen die Spitzenspannung eines Audiosignals (vgl. Weinzierl 2008: 552-564 für die nachfolgenden Ausführungen). Eine optimale Nutzung der Dynamik wird erreicht, wenn bei Vollaussteuerung die Übersteuerungsgrenze erreicht, nicht aber überschritten wird. Die Vollaussteuerung bezieht sich bei digitalen Signalen auf einen Signalpegel von 0 dBFS (Full Scale), die dem maximalen darstellbaren digitalen Zahlenwert entspricht. Oberhalb dieser Grenze kommt es zum Clipping, also einer Beschneidung der Signalspitzen, was zu nichtlinearen Verzerrungen führt. In analogen Systemen ist die Aussteuerungsgrenze unterschiedlich definiert und richtet sich nach unterschiedlichen zulässigen nichtlinearen Verzerrungen. Die in Deutschland verwendete DIN-Skala hat bei 0 dB seinen Bezugspunkt, bei einer Spannung von 1,55 V (+6 dBu) und reicht von -40 dB bis +3 dB. Beim Übergang von Analog- zur Digitaltechnik ist es für den Hörfunk nötig, einen Pegelwert zu definieren, der dem des 0 dBFS entspricht. Dieser so genannte Übernahmepegel beträgt aus schaltungstechnischen Gründen +18 dBu. Zur Erfassung der Lautheit sind im Vergleich zu kurzen Mittelungszeiten zur Erfassung von Pegelspitzen eher längere Mittelungszeiten geeignet. Deshalb bieten die Messgeräte meist einen Kompromiss an und arbeiten mit Integrationszeiten von 10ms. Es gibt unterschiedliche Ausführungen von PPM´s mit unterschiedlichen Skalen und Bezugspunkten. Der angezeigte Spitzenspannungspegel entspricht dabei dem 0,71-fachen der gemessenen Spannung und dem Effektivwert von sinusförmigen Signalen.

In Messgeräten für digitale Signale sind die Integrationszeiten im Bereich zwischen samplegenau und den in der Analogtechnik verwendeten 5 ms oder 10 ms veränderbar. Für die Abbildungsskalen werden Anzeigen mit einem auf 0 dBFS bezogenen Skalenende von 0 dB, oder auch mit auf den Rundfunk bezogene Skalenende von +9 dB. Dabei ist 0 dB der angestrebte Pegel der Vollaussteuerung. Nach EBU R68 gilt für den Hörfunk also ein empfohlener Wert von 0 dBFS. Aus den traditionell verwendeten 1,55 V bzw. +6 dBu ergibt sich dann ein Übernahmepegel von analog nach digital von +15 dBu für 0 dbFS.

In Großbritannien und Skandinavien werden hingegen andere Skalen verwendet, die sich in der Bezugsspannung zur deutschen unterscheiden. In Großbritannien wird auch eine andere Anzeigeskalierung verwendet, die Werte von 1 bis 7 mit 4 dB Abstand darstellen. Bei der digitalen Messmethode muss darauf geachtet werden, dass Signale, die eigentlich eine Aussteuerung von 0 dB nicht überschreiten, trotzdem übersteuern können, da der analoge Signalverlauf zwischen zwei Abtastwerten ja nicht erfasst wird. Die sogenannte True-Peak Anzeige, wäre eine mögliche Lösung dieses Problems, da sie mit einer internen Überabtastung arbeitet (vgl. Weinzierl 2008: 557)

Neben dem PPM gibt es noch das so genannte VU-Meter (Volume Unit-Meter). Die Skala des VU-Meters erstreckt von -20 bis +3 VU. Dabei entspricht eine Spannung von 1,228 V (+4 dBu) einem Wert von 0 VU. Auf diesen Wert bezieht sich auch die ebenfalls abgebildete Prozentskala des VU-Meters. Die Anzeige bildet für Sinussignale den Effektivwert ab, und für andere einen gemessenen Wert zwischen gleichgerichtetem Wert und Effektivwert. Die Integrationszeit des VU-Meters ist mit ca. 300 ms sehr lang, wodurch Spitzenpegel der Signale abhängig von ihrer Impulshaftigkeit weit über dem angezeigten Wert liegen können. Um Übersteuerungen vorzubeugen, sind manche Messgeräte so kalibriert, dass impulshaltige Signale am unteren Ende der Anzeige liegen. Dies kann dann mit einem regelbaren Verstärkungsfaktor wieder korrigiert werden, welcher die Anzeige in einen Aussagekräftigen Bereich zurückholt. Da das VU-Meter für digitale Zwecke eher ungeeignet ist, verliert es heute an Bedeutung.

Bewertungskurven zur Messung der Lautheit

Wie bereits erwähnt, ist eine reine Pegelspitzenmessung zur Erfassung der Lautheit eher ungeeignet. Es werden daher in einem gewissen Zeitfenster die Pegel gemittelt, um eine Referenz zum Energiegehalt L_{eq} des Signals zu erhalten. Die Gleichung für L_{eq} lautet wie folgt (vgl. Weinzierl 2008: 560):

$$L_{eq} = 10 \log \frac{1}{T} \int_0^T \frac{x^2(t)}{x_{ref}^{\ 2}(t)} \mathrm{d}t$$

In der L_{eq}-Messung wird dabei der gemittelte Pegel auf die Signalamplitude bezogen. Für die Messung können außerdem unterschiedliche frequenzbewertende Filter benutzt werden, die die Empfindlichkeit des menschlichen Gehörs repräsentieren, und vor der L_{eq} Berechnung

eine Frequenzgewichtung vornehmen. Diese Frequenzbewertenden Kurven basieren auf unterschiedlichen Modellen zur Bestimmung der Lautheit und haben großen Einfluss auf die Messung der Lautheit und somit auch auf die weiterführenden Bearbeitungsprozesse des Signals. ITU, IRT, Zwicker und RTW sind dabei statistische Quellen zur Lautheitsmessung. Verwendet werden dabei sog. A-, B-, C- und D-Kurven (vgl. Abbildung 13) und verschiedene andere, auf die im Folgenden näher eingegangen werden soll.

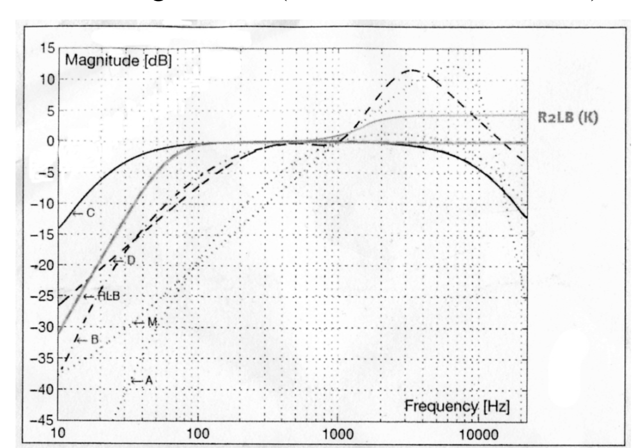
Die verschiedenen Modelle lassen sich in 3 Modellkategorien einteilen (vgl. Skovenborg/ Nielsen 2004: 5f.). Die Kategorien sind die Multi-Band Methoden, Single-Band Methoden und die Lästigkeit vs. Loudness Methoden. Die A-, B-, C- und D-Kurven ergeben sich aus den in Kapitel 2.1 beschriebenen Kurven gleicher Lautstärke, also einer Lautheit abhängig vom Frequenzgang. Diese fallen in die Kategorie Single-Band Modell. Daraus ergibt sich, dass der Frequenzgang des Gehörs vom Schalldruckpegel abhängig ist. Eine Summation der Lautheit in einzelnen Frequenzspektren wird in der Breitbandmethode aber nicht berücksichtigt. Für unterschiedliche Schalldruckpegel wurden also verschiedene Bewertungskurven (A-, B-, C- und D-Kurven) definiert. Für einen Lautstärkepegel von ca. 20-40 Phon gilt die A-Bewertungskurve, und für entsprechend höhere Pegel gelten dann die B-, C- und D-Kurven (vgl. Abbildung 13). Diese Kurven stellen teilweise auch heute noch die Grundlage für neuere Bewertungskurven dar.

So arbeitet die Fa. Dolby teilweise mit der A-Kurve, für die Lautheitsanpassung im Kinoton mit der M-Kurve, welche aus der in DIN 45405 übernommenen CCIR-Kurve zur Messung von Störspannungen in modifizierter Form resultiert (vgl. Weinzierl 2008: 561). Weiter gibt es die RLB-Kurve, die aus der ITU BS.1770 als Ergebnis entstand (also ein Standard zur Geräuschmessung der European Broadcast Union (EBU)), und einen Kompromiss aus der B- und C-Kurve darstellt. RLB steht dabei für „Revised Low Frequency B-Curve“ und unterscheidet sich vor allem im unteren Frequenzbereich von der B-Kurve. Unter besonderer Berücksichtigung der Anatomie des menschlichen Kopfes, vor allem bei Surroundwiedergabe, wurde die RLB-Kurve zur R2LB-Kurve weiterentwickelt (vgl. Abbildung 13), die heute unter dem Namen K-Filter bekannt ist. Nach ITU Richtlinien ist diese Kurve das verwendete Bewertungsfilter zur Lautheitsmessung.

Wie bereits erwähnt, haben sich separate Messinstrumente zur Lautheitsanzeige noch nicht durchgesetzt, allerdings bieten verschiedene Hersteller wie z.B. RTW PPM´s mit integrierter Lautheitsmessung an. Diese Geräte arbeiten dann mit einer längeren Integrationszeit als den herkömmlichen 10 ms und einem Frequenzbewertungsfilter, dessen Kurve ausgehend von der

ISO-Kurve R26 durch das Resultat aus Hörversuchen modifiziert wurde. In Anzeigegeräten der Fa. RTW wird dieser Wert als hellbeleuchteter Teil der Aussteuerung angezeigt.

Abbildung 13: Frequenzbewertungskurven (nach Kahsnitz 2009: 35)



Auffällig bei den Kurven aus Abbildung 13 ist, dass der tieffrequente Bereich zur Lautheitsmessung aus Gründen, die in 2.1 beschrieben werden, eine sehr kleine Rolle zur Lautheitsbildung spielt, und die Kurven in diesem Bereich sehr steilflankige Verläufe aufweisen. Auch verdeutlicht die Abbildung 13 eine Anhebung der Frequenzen zwischen 1 – 4 kHz in den Bewertungskurven, da hier die größte Empfindlichkeit des menschlichen Gehörs liegt. Es gibt auch Ansätze anderer Firmen, bei denen die Funktionsweise der eines VU-Messgerätes mit verlängerten Integrationszeiten ohne Frequenzbewertung entspricht. Aus Hörversuchen ging hervor, dass diese Messmethode bei einer Integrationszeit von 3s, mit den Lautheitsangaben eines PPM korrelieren (vgl. Weinzierl 2008: 561). Verwendung findet dieses Verfahren, auch als „IRT-Lautheit“ bezeichnet, z.B. in Pinguin Audio Meter Software. Durch internationale Standardisierung der ITU konnte sich dieses Verfahren aber nicht durchsetzen.

Daneben gibt es auf Multi-Band Modellen basierende Verfahren, die die in Abschnitt 2.1 beschriebenen Teillautheiten aus einzelnen Frequenzgruppen und Maskierungseffekte zwischen Frequenzbändern zur Bildung der *Gesamtlautheit* berücksichtigen. Zur Umsetzung der Zwickerschen Modelle wurden aus technischen Gründen Terzbandfilter verwendet, die eine gute Näherung an die Kritischen Bänder Zwickers darstellen. Im Gegensatz zum Lautheitsmodell von Stevens, welches für breitbandige Signale ohne Spitzen geeignet ist und die Kritischen Bänder in ganze Oktaven unterteilt, ist das Zwickersche Modell nach ISO 532-

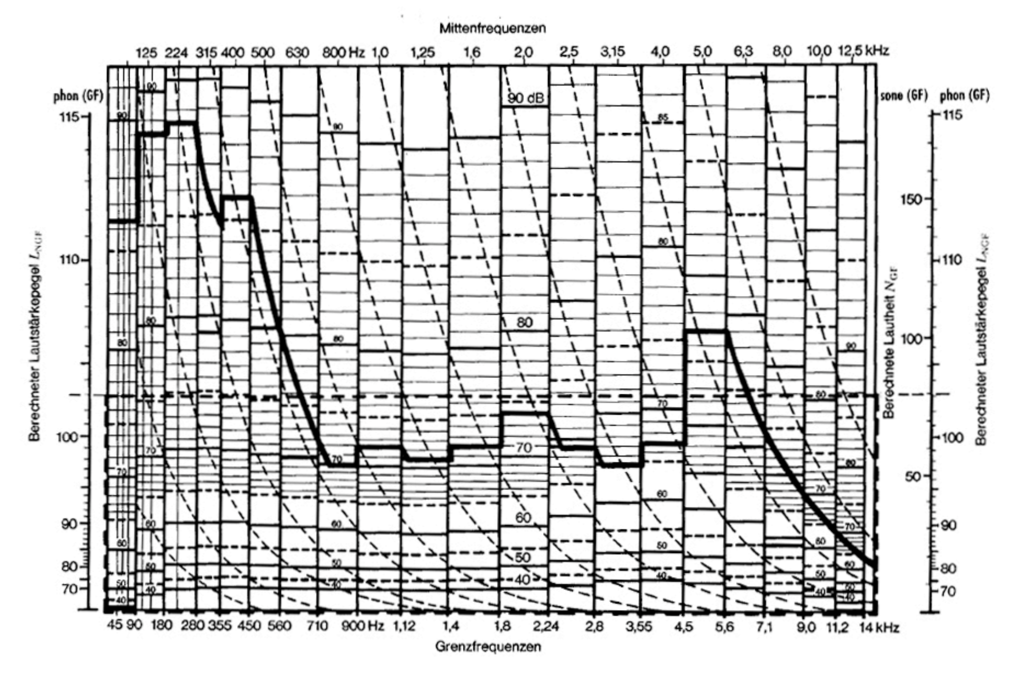
A genauer in der Summierung der einzelnen Frequenzspektren. Durch eine Fouriertransformation, also der Fähigkeit, ein jedes Signal in mathematisch berechenbare Sinus- und Cosinus-Anteile zu zerlegen, können Algorithmen auch die Vor- und Nachverdeckungen bei impulshaften Signalen berücksichtigen. Auch werden Frequenzgewichtungen hinsichtlich eines diffusen oder optional eines freien Schallfeldes berücksichtigt. Die Zwickerschen Modelle werden in der DIN 45631 und in der ISO 532-B als Standards aufgegriffen.

Die Lautheitsberechnung der DIN 45631 dient der „Berechnung des Lautstärkepegels und der Lautheit aus dem Geräuschspektrum“. Dazu werden wie oben erwähnt aus dem Terzpegeldiagramm die Lautheiten berechnet. Diese Terzbänder bilden eine praktische Annäherung an die in Kapitel 2.1 beschriebenen Kritischen Bänder mit einer Frequenzbandbreite von einer Dritteloktave. Unterhalb von 280 Hz werden mehrere Terzbänder zusammengefasst, um eine Annäherung zu erhalten. Zur Berechnung der Lautheit wird zunächst ein Diagramm gewählt, das den äußeren Umständen der Hörumgebung entspricht (z.B. Freies Schallfeld, diffuses Schallfeld). Oberhalb 280 Hz können die Pegelwerte für das entsprechende Terzband in das Diagramm aufgenommen werden, während unterhalb 280 Hz verschiedene Terzbänder in Anlehnung an die Kurven gleicher Lautstärke bewertet werden und dann in 3 Frequenzgruppen zusammengefasst werden können (vgl. Deutsches Institut für Normung 1991: 2):

- Lg1 beinhaltet alle bewerteten Terzpegel mit einer Mittenfrequenz zwischen 25 und 80 Hz.
- Lg2 mit drei bewerteten Terzpegeln mit einer Mittenfrequenz zwischen 100 und 160 Hz.
- Lg3 mit zwei bewerteten Terzpegeln mit einer Mittenfrequenz zwischen 200 und 250 Hz.

Diese Frequenzgruppen können dann ebenfalls in das Diagramm eingetragen werden (vgl. Abbildung 14). Die Pegelsprünge der Terzbänder mit zunehmender Frequenz werden vertikal miteinander verbunden. Falls das nächste Frequenzband kleinere Pegel vorweist, wird dieses dann mit einer abfallenden Kurve verbunden. Damit wird ein eventueller Verdeckungseffekt berücksichtigt, da Pegel unterhalb der abfallenden Kurve entweder ganz oder zum Teil unsichtbar bleiben. Die Fläche unterhalb der entstandenen Kennlinie ist die Gesamtlautheit. Das aus der Flächenberechnung entstandene Rechteck kann in das Diagramm integriert werden (vgl. das gestrichelte Rechteck in Abbildung 14), und dann an der y-Achse (Soneskala) ein entsprechender Wert der Gesamtlautheit abgelesen werden. Dieses Verfahren kann in Algorithmen zur Lautheitsbestimmung implementiert werden, bei denen dann die verschiedenen Terzpegel eingegeben werden müssen.

Abbildung 14: Lautheitsdiagramm eines Beispielgeräusches (vgl. Deutsches Institut für Normung 1991: 3)



In einer Hörversuchsreihe der ITU aus dem Jahr 2002 wurden die verschiedenen Ansätze zur Lautheitsmessung verglichen (vgl. Weinzierl 2008: 562). Dabei wurden rundfunktypische Sendestrecken bestehend aus Sprache und Musik verwendet. Aus dieser Studie ging hervor, dass die Zwickerschen Modelle die schlechtesten Ergebnisse lieferten. Das beste Ergebnis brachte dagegen die L_{eq}-Messung mit einer RLB-Frequenzbewertung. Auch in einer Studie aus dem Jahr 2004 schnitt die L_{eq} (RLB)-Messung am besten ab (vgl. Soulodre 2004: 153). In der ITU-R BS:1770 Empfehlung aus dem Jahr 2006 findet dieses Messverfahren seine Verwendung, und für den Mehrkanalton zu der R2LB-Kurve modifiziert wurde.

Zur Lautheitsbildung für Mehrkanalton werden den einzelnen Kanalsignalen Filter vorgeschaltet, welche eine Frequenzbewertung nach dem Modell einer schallharten Kugel, repräsentativ für den Kopf des Rezipienten, den Frequenzgang des Schalldrucks an dessen Oberfläche bewerten. Aus der Summe aller Einzelkanäle wird dann die Gesamtlautheit berechnet. Dabei haben die Surroundkanäle einen höheren Gewichtungsfaktor von 1,5 dB, da aus evolutionären Gründen rückwärtiger Schall einen höheren Lautstärkeeindruck verursacht als Frontalschall. Bedingt durch den Programminhalt können hier aber trotz guter Korrelation bei Versuchspersonen Abweichungen von mehreren dB entstehen (vgl. Weinzierl 2008: 564).

Neben dem Versuch, die Ansätze zur Lautheitsmessung mit unterschiedlichen Lautheitsbewertungen zu standardisieren, wird auch eine Standardisierung der Einheit und

Skala zur besseren Vergleichbarkeit verschiedener Messgeräte angestrebt. Zunächst wurde die Einheit dBLU (LU = Loudness Unit) vorgeschlagen. In jüngerer Zeit aber bevorzugen die Empfehlungen eine LKFS-Skala, was für Loudness mit einer K-Bewertung bezogen auf dB in Full Scale steht. Der Skalenbereich und der Skalenumfang sind noch nicht vorgegeben, weshalb die Umsetzung von Hersteller zu Hersteller variieren kann (vgl. Kahsnit 2009: 35).

Zusammenfassend kann zur technischen Messung von Lautheit gesagt werden, dass zwar bereits zahlreiche vielversprechende Ansätze vorliegen, sich aber noch kein Messmodell durchgesetzt hat. Dies wird möglicherweise auch im folgenden Abschnitt 2.3 vor dem Hintergrund psychologischer Forschung verständlich, der zufolge die menschliche Wahrnehmung – u.a. von Lautheit – auch auf Erfahrungen, Erwartungen und subjektiven Bewertungen beruht.

2.3 Psychologie und Lautheitsunterschiede

Ein weiterer Bereich für die Betrachtung von Lautheit bildet die Wahrnehmungspsychologie. Der Mensch bildet in seiner Wahrnehmung nicht die Wirklichkeit ab, sondern konstruiert diese aufgrund von eigenen Erfahrungen und Erwartungen (vgl. Goldstein 1997: 22ff.). Dies gilt für sämtliche Ereignisse, die Sinnesorgane ansprechen, also auch für das Gehör und dem Hören von Schallinformationen. Die menschliche Wahrnehmung beruht darauf, dass Reize aus der Umwelt über die körperlichen Sensoren aufgenommen und im Gehirn verarbeitet werden. Einen Zusammenhang zwischen messbaren physikalischen Ereignissen und der Wahrnehmung im Bezug auf das Gehör bildet die Psychoakustik, welche bereits in Kapitel 2.1 erläutert wurde. In diesem Kapitel soll hingegen darauf eingegangen werden, wie sich Erfahrungen und Erwartungen auf das Hören auswirken, und welche Faktoren für das Hören wichtig sind, um Aufmerksamkeit zu erlangen – was auch für den Hörfunk eine bedeutende Rolle spielen kann.

Wichtig für die Wahrnehmung ist die Aufmerksamkeit, also Reize, die die menschliche Konzentration auf sich ziehen. Der Mensch ist bis zu einem gewissen Maß in der Lage, mehrere Dinge gleichzeitig zu verarbeiten und zu tun. Die Punkte, an denen dies nicht mehr möglich ist, werden als „Flaschenhals“ bezeichnet (vgl. Anderson 2007: 91). Dies betrifft Punkte, an denen erkennungsmäßige Prozesse entscheiden, welche Information Aufmerksamkeit erlangt und welche Information ignoriert wird. In unterschiedlichen Hirnregionen, die der Aufmerksamkeit dienen, gibt es diejenigen Bereiche, die die Auswahl der Informationen vornehmen, und diejenigen, die ausgewählte Informationen verarbeiten.

Für die auditive Aufmerksamkeit geht aus dem so genannten „dichotischen Hören“ hervor, dass der Mensch in der Lage ist, seine Aufmerksamkeit auf ein Ereignis zu richten und andere zu unterdrücken. Wenn zwei unterschiedliche Signale auf beide Ohren gegeben werden, kann nur einem gefolgt werden, und das andere ausgeblendet werden (Cocktail-Effekt). Die unterdrückten Signale werden in geringem Maße aber trotzdem verarbeitet, und es ist möglich, das Gehörte zu klassifizieren. Beispielsweise, ob es sich um ein Geräusch oder eine Stimme handelt, und ob diese männlich oder weiblich ist. Der Inhalt des Gehörten kann aber nicht aufgenommen werden. Es gibt unterschiedliche Theorien über den Vorgang dieses Sachverhaltes (vgl. Anderson 2007: 94-98). Hierzu zählen die Filtertheorie von Broadbent und die Dämpfungstheorie von Treismann. Die Filtertheorie geht davon aus, dass frühzeitig aufgrund von physikalischen Gegebenheiten, z.B. Stimmlage, selektiert wird, welcher Informationsquelle gefolgt wird. Aus anderen Experimenten geht aber auch hervor, dass die Aufmerksamkeit plötzlich aufgrund des semantischen Gehalts auf andere Gespräche lenkt. Demnach ist der Mensch auch in der Lage, seine Aufmerksamkeit aufgrund des Inhaltes zu steuern. Die Dämpfungstheorie hat diesen Sachverhalt aufgenommen und geht davon aus, „[...] dass bestimmte Mitteilungen ausschließlich aufgrund ihrer physikalischen Eigenschaften zwar abgeschwächt, jedoch nicht völlig herausgefiltert werden.“ (Anderson 2007: 96).

Erfahrung und Gedächtnis spielen für die Wahrnehmung von Lautheit allgemein und Lautheitsunterschieden eine wichtige Rolle. Außerakustische Verknüpfungen sind dabei für die subjektive Bewertung der Wahrnehmung ein Faktor. Ständig wiederkehrende Sachverhalte werden im Gedächtnis des Menschen abgelegt. Eine Information, also ein Reiz, reicht aus, um die verschiedenen miteinander verknüpften Gedächtnisinhalte zu aktivieren.
In einer Versuchsstudie (vgl. Höger/ Greifenstein 1988) wurde z.B. festgestellt, dass die visuellen Merkmale von Geräuschquellen deren wahrgenommene Lautheit beeinflussen. So zeigte sich bei der Wahrnehmung der Lautheit von LKW´s, dass die subjektiv empfundene Lautstärke abhängig ist von der visuellen Größe eines LKW´s. Es wurden zu diesem Versuch unter kontrollierten Experimentbedingungen durch Videos die visuelle Reizgröße, also die Größe der LKW´s, und deren abgestrahlte Schallpegel verändert. Die Probanden sollten dabei auf einer 11er-Skala (von „laut“ bis „leise“) die Lautheit einschätzen. Aus der Studie ging hervor, „[...] dass bei gleichem Pegel kleinere Fahrzeuge als leiser eingestuft werden als größere.“ (Höger/ Greifenstein 1988: 131). Aus dieser Studie kann also entnommen werden, dass aufgrund von wiederkehrender Erfahrung im Alltag (hier: die Wahrnehmung von

LKW´s) gewisse Sachverhalte kognitiv miteinander verknüpft sind und dadurch subjektiv zu unterschiedlichen Bewertungen führen können.
Übertragen auf musikalische Reizeinflüsse spielt also auch das Gedächtnis eine Rolle (vgl. Bruhn/ Kopiez/ Lehmann 2008: 396). Man könnte daher z.B. annehmen, dass ein Schlagzeug aufgrund von abgespeicherten Erfahrungen als subjektiv lauter erscheinen kann, als es tatsächlich ist. Hierfür können Hörerfahrungen verantwortlich sein, die z.B. auf Konzerten gesammelt wurden. Ein Schlagzeug ist ein visuell größeres Instrument auf der Bühne, als eine Gitarre, und häufig ein sehr stark betontes Instrument der Live-Mischung. Auch ist das Schlagzeug in populärer Musik ein stark betontes, also lautes Instrument. Es kann also angenommen werden, dass leise Signale innerhalb einer Musikmischung, bedingt durch eine schlechte Mischung der Produktion oder aber durch Fehleinstellungen der Klangregelung in gewissen Frequenzbereichen beim Hörfunk, vom Hörer bis zu einem gewissen Schwellenwert subjektiv aufgefangen werden kann.

Die Lautheitswahrnehmung ist auch vom Alter des Hörers abhängig, was u.a. in psychologischer Forschung bereits untersucht wurde (z.B. Hellbrück-Matt 1981). Die Hörfähigkeit verschlechtert sich dabei mit zunehmendem Alter. Vor allem sind dabei die hohen Frequenzanteile betroffen. Bis zu einer Frequenz von 1000 Hz sind Alterseffekte zu vernachlässigen, aber darüber steigen die altersbedingten Lautheitsunterschiede mit steigender Frequenz. Vor allem in einem Pegelbereich der Hörschwelle sind Alterseffekte am stärksten, nehmen aber mit steigendem Lautstärkepegel ab, was bedeutet, dass die Unterschiede vernachlässigbar sind, wenn die Hörschwelle deutlich überschritten wurde (vgl. Matt-Sommer 1992: 56). In Hörversuchen des Würzburger Psychologischen Instituts wurde der Effekt der altersbedingten Lautheitsdifferenzen in hohen Frequenzen ebenfalls nachgewiesen. „Dieser Lautheitsabfall beträgt bei 5600 Hz ungefähr 6 bis 8 dB, bei 4000 Hz etwa 4 bis 6 dB [...] “ (Hellbrück-Matt 1981: 22). Weiter bedeutet dies, dass durch hohe Kompression einem altersbedingten Lautheitsunterschied vorgebeugt werden kann, da die leisen Signalanteile näher an die Maximalpegel hinreichen, und somit über der Hörschwelle von älteren Hörern liegen können, was mit einem maximalen Dynamikumfang nicht der Fall wäre.
Da die Bestimmung von empfundener Lautstärke ein subjektives Phänomen ist, werden in der Psychologie bei Hörversuchen keine *objektiven* Skalen zur Beurteilung von Lautstärke verwendet. Stattdessen werden vornehmlich Kategoriallautheiten als Messskalen verwendet. Hierbei wird eine *subjektive* Bewertung der empfundenen Lautstärke in vorgegebenen,

standardisierten Lautheitskategorien abgefragt, wie z.B. leise, laut, sehr laut usw. In den Würzburger Hörversuchen wurden diese Kategorien verfeinert (vgl. Hellbrück 1982; Hellbrück/ Matt 1982). Es wird grob in 5 Kategorien eingeteilt („sehr leise", „leise", „mittel", „laut" und „sehr laut"), und innerhalb dieser Grobeinteilung werden dann noch feinere Abstufungen jeweils in einer Zehnerskala abgebildet. So entsteht ein Punktesystem von 1 (Extremwert von „sehr leise") bis 50 (Extremwert von „sehr laut").

Dass die Wahrnehmung von Lautheit auch auf Erfahrungen und Erwartungen beruht, heißt sicherlich nicht, dass Lautheit rein individuell und subjektiv ist. Menschen innerhalb einer Kultur und Gesellschaft teilen viele gemeinsame Erfahrungen und haben ähnliche Hörgewohnheiten (z.B. kulturspezifische Musik und Musikinstrumente). Daraus kann geschlossen werden, dass Unterschiede in der Lautheitswahrnehmung zwischen Kulturen in stärkerem Maße durch unterschiedliche Erwartungen beeinflusst sein dürften als Unterschiede innerhalb einer Kultur, die vergleichsweise geringer ausfallen. Dass innerhalb einer Kultur dennoch in einem gewissen Rahmen mit unterschiedliche Erfahrungen und Erwartungen zu rechnen ist, liegt jedoch ebenso auf der Hand: dies kann beispielsweise sowohl mit dem Alter des Hörers und dessen generationsspezifischen Erfahrungen zusammenhängen, als auch mit der Zugehörigkeit zu Subkulturen mit eigener ausgeprägter Musikstilrichtung (z.B. Punkrock versus Volksmusik).

Insgesamt unterstreicht die psychologische Forschung wahrgenommener Lautheit die Komplexität des Problems, die Lautheit einer Schallquelle exakt zu bestimmen. Die in Abschnitt 2.2.2 vorgestellten Messtechniken von Lautheit können demnach immer nur eine Tendenz für einen „durchschnittlichen" Hörer darstellen und im Einzelfall von Hörer zu Hörer, je nach persönlich gesammelten Erfahrungen, auch abweichen. Die geschilderten wahrnehmungspsychologischen Faktoren sind dabei jedoch stets Einflüsse auf die subjektive Lautheit *neben* den in Abschnitt 2.1 geschilderten Einflussfaktoren der Lautheit. Die Kenntnis des Einflusses sozialer und psychologischer Faktoren sollte demnach eher als mögliche Erklärung von individuellen oder gruppenspezifischen Abweichungen von Lautheitsunterschieden betrachtet werden, und nicht dazu führen, die Möglichkeit der Messung von Lautheit prinzipiell infrage zu stellen.
Als Fazit kann daher zusammengefasst werden: Lautheit kann mit technischen Mitteln, die in Abschnitt 2.2.2 vorgestellt wurden, annäherungsweise gemessen werden, und wahrnehmungs-

psychologische Erkenntnisse verhelfen dazu, eventuelle Abweichungen in wahrgenommener Lautheit besser verstehen zu können.

Nachdem nun die Grundlagen von Lautheit, deren Einflussfaktoren und Messmöglichkeiten erläutert wurden, soll in den folgenden Kapiteln auf den Anwendungsfall in der Praxis des Hörfunks näher eingegangen werden. Im Mittelpunkt stehen dabei Ursachen und Probleme von Lautheitsunterschieden im Sendekontext (Kapitel 3) sowie konkrete technische Lösungsmöglichkeiten für den Umgang mit Lautheitsunterschieden (Kapitel 4).

3 Problemstellung aus der Praxis des Hörfunks

Das Radio hat im Vergleich zu fertig produzierten Tonträgern mit anderen Problemen bezüglich Lautheitsunterschieden zu kämpfen. Unterschiedliche Musikproduktionen weisen zwar im direkten Vergleich z.T. gewaltige Lautheitsunterschiede auf, aber Konsumenten rezipieren diese Produktionen anders als Radiosendungen, da das Kaufen einer CD beispielsweise ein gewisses Interesse an und eine Identifikation mit einer Musikrichtung oder einem Künstler voraussetzt. Es kann davon ausgegangen werden, dass die Musik dann intensiver und unter anderen Bedingungen gehört wird, als Musik aus einer Radiosendung. Bei einer CD, die zuhause angehört wird, sind kaum Lautheitsunterschiede zu erwarten, da eine Musikproduktion meistens in sich geschlossen ist und durchgängig ähnliche Lautheitswerte und Sound-Charakteristika aufweist (abgesehen von schlecht produzierten Samplern), und da der Hörer ein persönliches Interesse an der Musik hat, werden Einstellungen, die manuell vom Rezipienten zumindest für diese Abhörsituation vorgenommen werden müssen, toleriert. Es können Lautstärken von Titeln, die bereits bekannt sind, vom Hörer vorher besser eingeschätzt werden, und Schocksituationen durch zu große Lautheit vermieden werden, da der Hörer bei der Lautstärkeeinstellung seiner Stereoanlage bewusst abschätzen kann, welche Lautheit ihn erwartet. Diesbezüglich kann eine Hörfunksendung natürlich nicht im Vorfeld vom Rezipienten abgeschätzt werden, und ein Lautheitsunterschied kann dann zum wiederholten und dadurch als störend empfundenen Verstellen des Lautstärkereglers am Radio führen – oder im schlimmsten Fall sogar zum Umschalten zu einem anderen Sender. Weil im Hörfunk viele verschiedene Titel unterschiedlicher Interpreten zu hören sind, kann nicht immer der Geschmack eines jeden Hörers getroffen werden, was die Toleranzgrenze des Rezipienten sicherlich zusätzlich negativ beeinflussen kann.

Möglichkeiten und Probleme der Lautheitsbearbeitung

Aufgrund des Umstandes, dass der Rundfunk mit Einstellungen arbeiten muss, die für die meisten gespielten Titel passen müssen, kann nur eine gemittelte Einstellung im Ausspielweg verwendet werden. Da Musik in einer Sendung sehr unterschiedlich sein kann, zum Beispiel hinsichtlich der Stilrichtung, des Alters und der Qualität der Produktionen, ist eine hundertprozentige Beseitigung – so diese erwünscht ist – von Lautheitsunterschieden nicht immer möglich. Gerade wenn große Unterschiede in der Energiedichte, also der Fülle an verschiedenen Frequenzen, vorhanden sind, ist eine Angleichung schwer zu erreichen. So wird der Lautheitseindruck zwischen einer Rockband und einer einzelnen Akustikgitarre immer subjektiv wahrnehmbar sein. Weiter liegen in der technischen Kette des Hörfunks, die ein Signal durchläuft, bevor es beim Hörer angelangt, viele weitere Fehlerquellen. In den zahlreichen technischen Prozessen wie beispielsweise Verstärkung, Komprimierung und Limitierung wird das Sendematerial bearbeitet und es kann nicht immer von einer gleichen, idealen und fehlerfreien Arbeitsweise und Übertragung ausgegangen werden.

Neben der Angleichung der Musik liegt die Notwendigkeit der Lautheitsbearbeitung beim Hörfunk darin, den Sprechern ein höheres Durchsetzungsvermögen gegenüber der Musik zu verleihen, die Sprachverständlichkeit zu erhöhen und Störgeräusche auszuschalten. Da Sprache einen sehr großen Dynamikumfang hat, muss sie soweit begrenzt werden, dass sie im Mittel laut genug ist, um gehört zu werden. Darüber hinaus ist der Lautstärkepegel am Anfang von Sätzen und Wörtern lauter, als an Satz- und Wortenden, oder die Position des Sprechers zum Mikrofon ist ausschlaggebend, indem zum Beispiel bei zu kurzem Abstand der tieffrequente Anteil der Stimme unnatürlich erhöht wird (vgl. Pawera 2003: 100). Bei der Kompression von Stimmen kommt es meistens zu einer Überbetonung von S- und Zischlauten. Dem kann mit einem De-Esser begegnet werden, welcher im Frequenzbereich von 4-7 KHz, in dem sich die S-Laute befinden, nach der Funktionsweise eines Kompressors starke Zischlaute komprimiert. Die mittlere Lautheit der Sprache liegt im Vergleich zur Musik weit unterhalb, da Sprache einen impulsartigen Signalverlauf aufweist. Die Folgen der Dynamikeinschränkung durch Kompression von Sprache sind vor allem die Einschränkungen der Wirkung vom gesprochenen Wort. Mit der Angleichung von lauten und leisen Passagen werden auch die emotionalen Unterschiede angeglichen, die ein Sprecher vermitteln will. Verschiedene Frequenzen, die in einer Stimme normalerweise einen kleineren Einfluss auf den Klang haben, können angehoben und mehr betont werden, was die eigentliche Stimme

eines Sprechers verfälscht, nasal oder blechern klingen lässt. Da verschiedene Mundlaute wie m, b und v in einem engen Frequenzbereich liegen, kann dies zu Unverständlichkeit führen.
Das heißt, dass beim Versuch, Musiktitel in Sachen Lautheit, Dynamik, Klang und auch Wirkung anzupassen, auch die Sprache angeglichen wird. Da aber Sprache immer ein und dasselbe „Instrument" ist, liegt hier das Problem, dass unterschiedliche Sprecher über die meist sehr ähnlichen technischen Einstellungen tendenziell gleich klingen, und somit eine Identifikation von Einzelpersonen sehr schwer wird. Bei zu großem Eingriff mit Kompressoren und Limitern führt die Begrenzung der Dynamik dazu, dass Stimmen ihr Eigencharakter genommen wird. Die emotionale Wirkung der Sprache wird durch technische Bearbeitung eingedämmt, wenn beispielsweise eine leise und einfühlsame Stimmung nahezu gleich laut wahrgenommen wird wie Fortissimo. Bei Manipulation verschiedener Frequenzen der Stimme wird dessen Klang in Ausdruck, Charakteristik und Eigenheit verfälscht.
Die Einengung der Dynamik bewirkt weiter das Problem schnellerer Hörermüdung. Da das gesamte Frequenzspektrum oder verschiedene leise Frequenzen angehoben werden, steigt die Lautheit an, und das Gehör ermüdet rascher. Die Hörempfindlichkeit lässt nach und die Hörschwelle verschiebt sich, weil die Gehörerholung bereits bei einem Pegel von 65 dB gestört und ein entspanntes Hören über einen längeren Zeitraum nicht mehr möglich ist.
Der Hörfunk bewegt sich also auf einem schmalen Grat, wie viel dem Sprecher technisch unter die Arme gegriffen werden darf, ohne zu große Einbußen in Punkten wie Klang, Wirkung, Eigenheit, Identität, Charakter und Originalität in Kauf zu nehmen.

Ursachen für Lautheitsunterschiede

Ursachen für Lautheitsunterschiede im Hörfunk gibt es viele. Zu den wichtigsten, die im Folgenden kurz erläutert werden, gehören:

a) Moderatoren und Selbstfahrerbetrieb,
b) Übertragungstechnik,
c) Musikprogramm und Sendeformat,
d) unterschiedliche Sendebeiträge, sowie
e) Regionalisierung.

zu a) Moderatoren und Selbstfahrerbetrieb

Einen Grund, der im Hörfunk sehr stark für Lautheitsunterschiede verantwortlich ist, bilden Sendestrecken im Selbstfahrerbetrieb. Dies bedeutet, dass der Moderator die Fader, also die Lautstärkepegel, am Mischpult selbst bedient und keine automatisierte Korrektur durch

technische Geräte stattfindet. Das führt auf mehreren Ebenen zu Problemen. Ein Moderator verfügt in vielen Fällen nicht über die technische Ausbildung und das technische Wissen wie eine ausgebildete Arbeitskraft für genau dieses Berufsfeld. Es kann davon ausgegangen werden, dass Moderatoren eher einen journalistischen als einen technisch-akustischen Hintergrund haben, und/oder einfach über eine optimale Sprecherstimme verfügen. Schulungen können zwar das Wissen erweitern, aber natürlich nicht mit einer mehrjährigen Ausbildung, technischer Auffassungsgabe und einem geschulten oder gar „absoluten Gehör" gleichgesetzt werden. Dieses Defizit kann zu hörbaren Lautheitsunterschieden zwischen den unterschiedlichen Sendungskomponenten durch Fehleinstellungen am Lautstärkeregler führen. Weiter liegen für den Moderator neben dem „Pegelfahren" viele weitere Aufgaben vor, die seine Konzentration erfordern. Nicht ganz unwichtig sind dabei z.B. das Lesen des Beitrages und dessen fehlerfreie Wiedergabe unter klang- und bedeutungsästhetischen Gesichtspunkten. Weitere Ablenkungsquellen können sendungsspezifische Faktoren wie z.B. Live-Telefonanrufe oder spontane redaktionelle Arbeiten sein. Auch umgebungsbedingte Gegebenheiten, wie z.B. visuelle oder akustische Störreize inner- und außerhalb des Studios, können die Konzentrationsfähigkeit des Sprechers ebenfalls beeinträchtigen.
Neben den Sendestrecken, bei denen die Moderatoren als Selbstfahrer für die Lautstärkepegel verantwortlich sind, gibt es immer noch Sendestrecken, bei denen Tontechniker an einem Mischpult in Senderegien diese Aufgabe erfüllen. Es kann davon ausgegangen werden, dass diese besser dafür geeignet sind. Aber dennoch haben auch diese unterschiedliche Qualifikationen und unterliegen äußeren Einflüssen, die die Konzentration negativ beeinflussen. Manuelle Fahrfehler können mit diversen automatisierten Geräten im Signalweg eingedämmt werden (vgl. die nachfolgenden Unterkapitel).

zu b) Übertragungstechnik

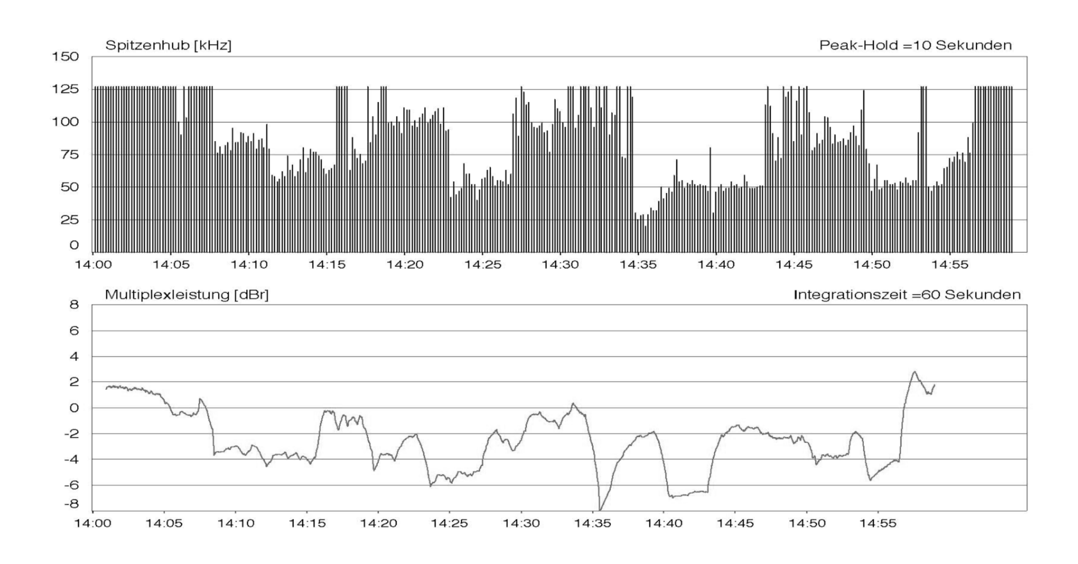
Ursachen für Lautheitsunterschiede zwischen einzelnen Radiosendern können in der Übertragungstechnik gefunden werden. Neben der Satellitenübertragung spielt die terrestrische Übertragung des Radiosignals zum Grossteil noch eine wesentliche Rolle. Sie basiert auf frequenzmodulierten (FM) Ultrakurzwellen (UKW) zwischen 87,5 MHz und 108,0 MHz, bei denen der Frequenz-Hub einer Trägerfrequenz von dem übertragenen Signal in Abhängigkeit von dessen Pegel und Frequenzinhaltes verändert wird (vgl. Dickreiter/ Dittel/ Hoeg/ Wöhr 2008: 971). Der Frequenz-Hub ist die maximale Geschwindigkeitsabweichung der Trägerfrequenz zu seiner Betriebsfrequenz bedingt durch das niederfrequente Nutzsignal. Die Frequenzmodulation hat im Vergleich zur Amplitudenmodulation (AM), die bei der

Übertragung im Lang-, Mittel- und Kurzwellenbereich verwendet wird, den Vorteil, dass sie einen größeren Dynamikumfang des Radiosignals erlaubt, und für atmosphärische Störungen weniger anfällig ist. Der Störabstand beträgt ca. 40 dB und kann durch den Pegel am Sendeausgang erhöht werden, was eine Motivation für einen Radiosender sein kann, mit großer Lautstärke zu senden. Der Ausgangspegel beeinflusst den Frequenzgang der Trägerfrequenz zur besseren Empfangsqualität und einer deutlichen Erhöhung des Störabstandes. Durch eine Vorverzerrung (Preemphasis) des Amplitudenfrequenzgangs des modulierenden Signals mit Filterzeitkonstanten (für UKW-FM 50 oder 75 µs) erhöhen sich hohe Frequenzanteile um bis zu 15 dB über ihren Wert. Dies wird empfängerseitig durch Absenkung (Deemphasing) um denselben Betrag ausgeglichen und damit auch gleichzeitig das Empfängerrauschen minimiert.

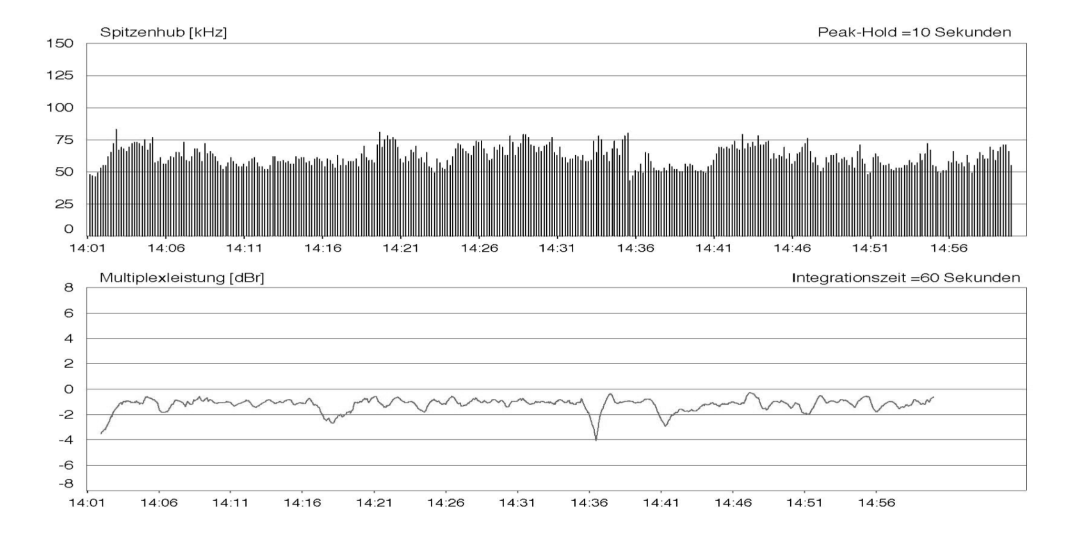
Der Ultrakurzwellenbereich ist in Kanäle unterteilt, die in einer Region für gewöhnlich eine Frequenzbreite von 150 kHz haben. Dies ergibt sich aus dem maximalen Frequenz-Hub von 75 kHz. Im Vergleich zu AM-Bändern haben die FM-Bänder eine größere Bandbreite, die ein qualitativ besseres und zweikanaliges Stereosignal erlauben. Durch die Anhebung der hohen Frequenzen können höherfrequente Signalanteile nicht mit maximaler Aussteuerung übertragen werden, da es sonst bei unerlaubten Hub-Überschreitungen zu Störungen von Nachbarkanälen kommt. Dies kann natürlich auch bewusst eingesetzt bzw. missbraucht werden, um durch die verursachten Störungen in anderen Kanalwellen Aufmerksamkeit auf sich zu lenken und um gegebenenfalls verbessert vom automatischen Sendersuchlauf (RDS) der Radiogeräte der Verbraucher gefunden zu werden. Aus diesem Grund wird der Frequenz-Hub von Radiosendern kontrolliert und bei Verletzung behördlich bestraft. Es wird auch die Modulationsleistung (Multiplexleistung, Abk. MPX), also die Gesamtleistung in Abhängigkeit der Energiedichte eines Nutzsignals, kontrolliert, da sie ebenfalls Störungen in anderen Kanälen verursacht und eine höhere Hörerreichweite bewirkt. Bei den Kontrollmessungen werden in einem Zeitfenster von 1 Minute jeweils jede Sekunde mindestens eine Messung durchgeführt. Über einen längeren Zeitraum von mindestens 20 Minuten werden diese Werte gemittelt, damit unterschiedliche Programminhalte wie Sprache und Musik berücksichtigt werden. Dabei darf die MPX-Leistung einen Wert von 0 dBr nicht überschreiten (vgl. Abbildung 15).

Abbildung 15: Spitzenhub und Modulationsleistung vor (15a) und nach (15b) technischer Bearbeitung

15a:



15b:



Um eine größere Lautheit zu ermöglichen, werden in der Bearbeitung des Signals Frequenzen über 15 kHz mit einem Tiefpassfilter abgeschnitten, da sie die Multiplexleistung erhöhen, eine UKW-Übertragung aber ohnehin nur Frequenzen bis 15 kHz übertragen kann. Die höheren Frequenzanteile würden die Multiplexleistung also unnötig erhöhen. Aus dem bereits erwähnten Grund der Erhöhung von hohen Frequenzen durch die Vorverzerrung ist es sinnvoll, diese Frequenzen zu unterdrücken. Da die Gesamtleistung abhängig von den Pegeln der einzelnen Frequenzbereiche ist, können die Sender mit größerem Dynamikumfang, also geringerer Kompression, höhere Spitzenpegel aufweisen als Sender mit größerer Multiplexleistung, da ein größerer Pegel nicht unbedingt dazu führt, dass die Multiplexleistungsgrenze verletzt wird. Die Reichweite eines UKW-Radioprogramms ist abhängig vom Standort des Senders und des Empfängers, Sendeleistung, Feldstärke und

unterschiedlichen Wetterlagen, und beträgt 10 bis ca. 100 km. Durch die hier genannten Aspekte entstehen Lautheitsunterschiede zwischen Radiosendern.

zu c) Musikprogramm und Sendeformat

Das gesendete Musikprogramm und das Sendeformat beeinflussen ebenfalls die Lautheit bzw. Lautheitsunterschiede. Durch unterschiedliche sendereigene Klangvorstellungen wird ein Kompressionsgrad intern vorgeschrieben. Vergleicht man zum Beispiel einen Klassiksender mit einem Popsender, können enorme Kompressions-, also auch Lautheitsunterschiede festgestellt werden. Klassiksender wie der SWR2 versuchen den vollständigen Dynamikumfang einer Musik zu senden. Die Gründe hierfür sind eher in der angedeuteten Sender- und Hörerphilosophie zu suchen. Klassische Musik lebt ganz gezielt von sehr großen Dynamikänderungen von sehr leisen pianissimo bis hin zu Fortissimo, um eine bestimmte Wirkung und künstlerische Intention zu vermitteln. Es kann also davon ausgegangen werden, dass Hörer dieses Musikbereichs eher auf solche Aspekte achten und diese auch hören wollen, als Hörer von Musikstilen, zu denen ohnehin ein hoher Kompressionsgrad zur Klangästhetik gehört. In klassischer Musik wird mehr als in jeder anderen Musik Kunst gesehen. Jegliche Abweichung vom Original wird als Eingriff in die vom Künstler vermittelte Wirkung betrachtet, und in diesem Hörerkreis weniger bzw. nicht akzeptiert. Eingriffe durch Kompression werden in der Klassik deutlicher gehört und als störend empfunden, da die ganz leisen Passagen der Musik stärker in den Vordergrund treten, und den Spannungsverlauf eines Stückes stark verändern. Weiter geht man davon aus, dass in diesem Bereich der Musik die Hörerschaft das Radioprogramm in ruhigeren, bewussteren Umgebungen rezipiert. Für solche Sender ist daher eine große Dynamik erwünscht. In Kauf genommen werden muss aber, dass im Sendervergleich diese Programme an leisen Stellen deutlich leiser oder sogar unhörbar sind, was bei Hörern, die nicht unbedingt zu der Hörerklientel des Senders zählen, zu einem schnelleren Wechsel des Senders oder einer Veränderung der Radiolautstärke führt.

Bei Sendern wie z.B. SWR 2 sind neben klassischer Musik auch Sendestrecken wie Hörspiele und Features wesentlicher Programminhalt. In Hörspielen wird eine Geschichte erzählt und die Umgebung über akustische Eindrücke abgebildet, in der sich die Protagonisten der Geschichte befinden. Vom Hörer soll die Umgebung sowohl akustisch als auch gedanklich, bildlich nachvollzogen werden können, und dadurch die von der Geschichte inszenierte Spannungskurve bewirken. Die verschiedenen Abbildungen müssen also über einen gewissen Dynamikumfang verfügen, um realistisch wahrgenommen werden zu können. Eine zu starke Kompression würde diesen Geräuschen entgegen wirken. Beispielsweise das Geräusch eines

vorbeifahrenden Autos erstreckt sich in der Realität über einen Bereich von der Hörschwelle bis hin zu Pegeln nahe der Schmerzgrenze, und eine Kompression eines solchen Fahrgeräusches innerhalb von einem Hörspiel würde durch die Verstärkung der leisen Geräusche also dem beabsichtigten Höreindruck entgegenwirken. Die mögliche Dynamikbearbeitung richtet sich demnach nicht nur auf den Wettbewerb zwischen den Sendern, sondern ganz stark nach den Inhalten der gesendeten Informationen. Da diese aus genannten Aspekten sehr stark variieren, sind Lautheitsunterschiede zwischen verschiedenen Sendern kaum zu vermeiden.

zu d) unterschiedliche Sendebeiträge

Eine weitere Quelle von Lautheitsunterschieden liegt in den Sendebeiträgen, z.B. Werbung, Kurzbeiträge, Jingles oder Hörspiele, die wie Musiktitel bereits vorher fertig produziert wurden, und in abrufbaren Datenbanken des Senders hinterlegt sind. Es kann beim Abspielen dieser Komponenten also nur das Summensignal von den Technikern oder Moderatoren am Mischpult gesteuert werden. Einzelne Spuren können im Verhältnis zueinander nicht mehr angeglichen werden. Dies geschieht in Aufnahmestudios, in denen täglich verschiedene Beiträge von Sound Designern produziert werden. Beispiele für Beiträge sind tagesaktuelle Nachrichtenüberblicke, Trailer für neue Programmteile, sendereigene Werbejingles, eingespielte Stimmenbeiträge (O-Töne) zu bestimmten Themen oder sendungseinleitende Begrüßungen. Zunächst wird der Sprachbeitrag eines Sprechers mit einem Recordingsystem aufgenommen. Die technische Umgebung der Audioworkstations entspricht der eines zumindest kleinen Tonstudios. Der Redakteur hat im Normalfall schon eine Vorstellung davon, wie lange der Beitrag werden darf, welche Wirkung er haben muss und aus welchen Komponenten er bestehen soll. Diese Komponenten können explizite Musiktitel eines Künstlers sein, Geräusche zur Vermittlung einer gewissen Situation oder Atmosphäre, z.B. das Geräusch von Regen für einen Beitrag zum Thema Wetter. In einer entsprechenden Soundsoftware werden die Aufnahmen und alle anderen Komponenten non-destruktiv geschnitten und arrangiert. Da die Lautstärkeverhältnisse eine wesentliche Rolle spielen, müssen die Lautheit betreffend diverse Aspekte beachtet werden. Durch die Lautstärke der Hintergrundmusik werden die Hörschwellen verschoben. Je lauter das Hintergrundgeräusch, desto lauter muss das Sprachgeräusch sein, um gehört zu werden und noch lauter, um als Hauptgeräusch wahrgenommen zu werden. Weist das Musikbett, also die Hintergrundmusik zu einem Sprachbeitrag, nicht nur instrumentale, sondern auch sprachliche Inhalte durch Stimme und Gesang auf, dürfen die Stimmen nicht synchron ablaufen. Denn durch den selben

Frequenzbereich der Stimmen kann es zu Verdeckungseffekten kommen, was den Sprachbeitrag beeinträchtigen könnte. Außerdem würde sich der Sprachbeitrag nicht so stark vom Hintergrund abheben, und die Aufmerksamkeit könnte zu dem Gesang der Musik hin ablenken. Bei Verwendung solcher Musikabschnitte sollten die Spuren also möglichst so arrangiert werden, dass es keine oder nur geringfügig am Wortausklang überlappende Bereiche der Stimmen gibt. Bei Verwendung von instrumentalen Musikpassagen unter der Sprecherstimme sollte auf Instrumente geachtet werden, die im Frequenzbereich der Stimme liegen. Z.B. bei Trompeten- oder Saxophonsoli überschneiden sich Frequenzanteile die für Sprachverständlichkeit maßgeblich sind. In diesem Fall müsste das Musiksignal mit einem EQ in diesem Frequenzbereich ausgedünnt werden, um den Frequenzen der Sprachverständlichkeit mehr Raum zu geben. Dies gilt natürlich auch für Effekte wie z.B. Autohupen, Wetterfrosch oder ähnliches. Bei dem Sprachsignal selber sollte darauf geachtet werden, dass durch den am Mikrofon verursachten Nahbesprechungseffekt überbetont tiefe Frequenzen mit einem EQ steilflankig unterdrückt werden, da es zunächst die Sprachverständlichkeit mindert, aber auch in der weiterführenden Signalverarbeitung zu einem Pumpen kommen kann.

Allgemein sollten Beiträge eine kontinuierlich gleichmäßige Lautstärke haben, da Unausgewogenheit nur bedingt aufgefangen werden kann. Wie bereits erwähnt, kann ein Techniker in der Senderegie nur den Gesamtpegel eines eingespielten Beitrages steuern, wodurch Lautstärkenunterschiede z.B. in der Stimme – vorausgesetzt sie werden vom Techniker gehört – ausgeglichen werden können. Auf die Lautstärke von einzelnen Beitragskomponenten, also auf das Mischverhältnis zueinander, kann nicht mehr eingegangen werden.

zu e) Regionalisierung

Die Regionalisierung führt senderintern zu Lautheitsunterschieden. Wie bereits erwähnt, sind bei manchen Sendern bestimmte Programminhalte auf verschiedene Regionen eines Bundeslandes aufgeteilt. Beispiele hierfür wären Wetterdienste, Verkehrsinformationen oder regionale Nachrichten. Hierfür übernehmen Regionalstudios für die Zeit dieser Programminhalte die Senderegie. Ansonsten wird von der zentralen Regie ein gemeinsames Programm für alle Regionen angeboten. Ein Lautheitsunterschied wird beim Umschalten von regional nach zentral und umgekehrt verursacht, wenn die Pegeleinstellungen nicht genau aufeinander abgestimmt sind. Dies ist häufig der Fall, da die einzelnen Studios die genauen Reglereinstellungen der anderen Studios nicht kennen. Weiterhin herrschen unterschiedliche

technische Rahmenbedingungen - in erster Linie durch unterschiedliche technische Ausstattung - die sowohl zu unterschiedlichen Klangästhetiken als auch zu Lautheitsunterschieden führen.

Wie gesehen birgt die Bearbeitung von Lautheitsunterschieden Vor- und Nachteile. In der folgenden Tabelle 1 werden diese Vor- und Nachteile in einer Übersicht zusammengefasst, bevor Lösungsansätze zur Angleichung von Lautheitsunterschieden in Kapitel 4 diskutiert werden. Diese Gegenüberstellung der Vor- und Nachteile zur Lautheitsbearbeitung im Hörfunk wird dann wieder in Abschnitt 5 aufgegriffen, wenn es darum geht, die verschiedenen Lösungsansätze miteinander zu vergleichen.

Tabelle 1: Potentielle Vor- und Nachteile der Lautheitsangleichung

potentielle *Vorteile* der Lautheitsangleichung	**potentielle *Nachteile* der Lautheitsangleichung**
Korrektur von „Fahrfehlern“	Künstlerische Intention geht verloren
Einheitliche Lautstärke	Weniger Dynamik
Klangbearbeitung gemäß des Frequenzganges des Gehörs	Instrumente undifferenziert
Konkurrenzfähigkeit	Hörermüdung bei hoher Kompression
Durchsetzungsfähigkeit und Sprachverständlichkeit der Moderatoren	Vereinheitlichung von Sprache/ Moderatorenstimmen

4 Technische Lösungsansätze der Lautheitsangleichung im Hörfunk

Wie die verschiedenen oben aufgezeigten Aspekte verdeutlichen, ist es für den Hörfunk eine schwierige, aber unter einigen Gesichtspunkten notwendige Aufgabe, die Lautheiten unterschiedlicher Programminhalte anzugleichen. Verschiedene Technologien und Ansätze führen zu technischen Geräten, die versuchen, den Hörfunk bei der Beseitigung von Lautheitsunterschieden zu unterstützen. Darüber hinaus bieten diese Geräte die Möglichkeit, den Klang eines Senders zu individualisieren und den Hörgewohnheiten der Zielgruppe anzupassen. Drei Geräte sollen im Folgenden genauer beschrieben und diskutiert werden, die sich in ihrer Funktionsweise zum Teil erheblich unterscheiden: Jünger d07 (Abschnitt 4.1), Orban Optimod-FM 8200 (Abschnitt 4.2) und Dolby DP600 (Abschnitt 4.3). Während Jünger und Orban Fabrikate liefern, die sich in der Hörfunkbranche bereits etabliert haben, ist der preisgekrönte Dolby DP600 ein aktueller Lösungsversuch, der erst im Jahr 2006 auf den Markt gebracht wurde.

4.1 Jünger d07

4.1.1 Funktionsweise

Der Jünger d07 ist ein Soundprozessor zur direkten Bearbeitung von Audiosignalen in Echtzeit. Das Soundprocessing des Jünger D07 verfügt im Gegensatz zu seinen Vorgängermodellen über eine neue Variante der Automatic Gain Control (AGC), die so genannte Level Magic, welche um einen Transientenprozessor erweitert wurde. Außerdem verfügt der Jünger D07 über einen Expander, Limiter, MPX Limiter und einen Kompressor für den Fall, dass die Level Magic deaktiviert sein sollte. Dieser Betriebsmodus entspricht dann dem etwas älteren Jünger d05.

Es gibt zudem die Möglichkeit, die Software des Jünger D05 auf den Stand des D07 zu aktualisieren. Allerdings gilt es zu beachten, dass dabei die Funktionen der Level Magic nicht angeboten werden können, da die Hardware dafür nicht ausgelegt ist. Auch wären die Prozessoren des D05 nicht leistungsstark genug, um diese Umsetzung zu gewährleisten.

Level Magic

Level Magic ist ein von Jünger entwickeltes System, welches versucht, Pegelsprünge und Übersteuerungen zu verhindern und das Signal auf einen gewünschten Betriebspegel anzugleichen. Um dies zu realisieren, besteht die Level Magic aus einer AGC (Automatic Gain Control), einem Transientenprozessor und einem Limiter. In der AGC wird der Pegel des Audiosignals korrigiert bzw. normalisiert. Dazu wird die AGC auf einem bestimmten Threshold eingestellt. Das Signal wird mit diesem Wert verglichen und angepasst. Bei Überschreitung des Threshold regelt die AGC dann automatisch über einen gewissen Zeitraum das Eingangssignal auf den gewünschten Pegelwert herunter, indem es ihn dämpft. Leise Einganssignale rücken durch die Dynamikbegrenzung näher an den gewünschten Pegelwert, wodurch versucht wird, die Lautstärkeunterschiede aufzufangen und anzugleichen. Die langsame AGC versucht letztlich, den Signalpegel auf dem Betriebspegel zu halten, und führt bei einer gegebenen Abweichung einen Regelungsprozess durch. Wichtig ist hierbei, dass dieser eine Regelzeit von 1dB/4-5s nicht unterschreitet, das heißt eine relativ langsame Regelzeit hat, da langsame Pegeländerungen von Hörern nicht wahrgenommen werden – es sei denn, der Pegel überschreitet durch die Regelung einen Wert, bei dem das Signal für den Hörer unangenehm laut wird. Die AGC ist also für Pegelunterschiede zuständig, die über eine längere Zeit dem Betriebspegel angeglichen werden können, und somit nicht wahrnehmbar bleiben.

Für große Pegelsprünge im Eingangssignal sind aber auch schnelle Regelvorgänge nötig, da

diese schneller beseitigt werden müssen. Wie stark der schnelle Pegelsprung wahrnehmbar ist, hängt von der Größe des Pegelunterschiedes und der Lautheit des Signals ab. „Doch ein Pegelsprung um 6dB ist in den meisten Fällen deutlich wahrnehmbar. Unangenehm wird es ab 10…12dB! Dies versucht der Transientenprozessor aufzufangen." (vgl. Jünger Audio 2005: 3). Der Transientenprozessor dämpft oder verstärkt dazu das Audiosignal immer dann, wenn ein neuer Programmabschnitt beginnt. Dadurch sollen zumindest die als deutlich unangenehm wahrgenommenen Pegelsprünge vermieden werden. In der Level Magic ist im Gegensatz zu den älteren Dynamikprozessoren ein Aussteuerungsbereich mit einem Headroom gegeben. Dieser besteht aus der Differenz zweier Pegel, dem Betriebspegel und dem Spitzenpegel. Das ermöglicht nicht nur eine Verstärkung und Begrenzung, sondern auch ein Zurückregeln des Signals. Der Headroom wird durch einen Limiter begrenzt. Die Analyse des Eingangssignals erfolgt über Messungen, aus deren Vergleich sich die enthaltenen Transienten ergeben und die Parameter für die AGC und den Transientenprozessor bestimmt werden.

Verschiedene Parameter können für die Level Magic eingestellt werden, wobei die Einstellung des Transientenprozessors verantwortlich für die Charakteristik des Systems ist. Zu diesen Parametern gehören:

- Operating Level: Betriebspegel und somit Bezugspegel für Transientenprozessor und AGC zwischen -40 und 0 dBFS. Meist wird in deutschen Radiosendern ein gewisser Headroom berücksichtigt, um unter den in Deutschland geltenden Richtlinien für Maximalhub und MPX-Leistung zu liegen. Meist wird der Betriebspegel auf -6 oder -9 dBFS festgelegt.
- AGC range: Maximum der Pegeländerung durch die AGC zwischen 0 und 40 dB; ein Herstellerrichtwert sind 10dB, da die Range größer sein muss als die Differenz aus mittlerem Eingangspegel und Betriebspegel.
- AGC time: Zeit, in der die AGC die maximale Pegeländerung vornehmen kann (zwischen 10s und 2h). Laut Hersteller sollte sie nicht kürzer als 1dB/3s sein. Es ist zu beachten, dass die AGC Range den Wert der Zeit vorgibt. Wenn die Range z.B. 10 dB umfasst und eine Änderung von 1dB/4s angestrebt wird, ergibt sich eine Regelzeit von min. 40s.
- AGC gate: Threshold für die AGC zwischen -60 und 20 dBFS. Bei Unterschreiten des Threshold werden die Regelparameter der AGC und des Transientenprozessors eingefroren. Falls dies über 20s der Fall ist, werden die Augenblickswerte an einen Langzeitmittelwert angeglichen, um eine Anhebung von unerwünschten Geräuschen zu verhindern.
- Transient program: Dies betrifft die Charakteristik der Pegelangleichung des Transientenprozessors, die zwischen „soft, mid, hard" eingestellt werden kann. Dieser Parameter sollte je nach Programminhalt ausgesucht werden, z.B. „soft" für Klassische Musik und „hard" für Formate, bei denen öfters Pegelsprünge der Fall sind (z.B. Live-Sport).
- Transient range: größtmögliche Pegeländerung des Transientenprozessors zwischen 0 und 15 dB. Dieser Wert beeinflusst den Dynamikumfang des Signals.
- Limiter Threshold: Pegel des Limiters zwischen 0 und -20 dBFS. Er bestimmt den

Headroom der Aussteuerung, da er den Spitzenpegel beeinflusst. Die Differenz von Spitzenpegel und Betriebspegel (Headroom) sollte laut Hersteller zwischen 4 und 9 dB liegen.

- Limiter program: Dieser Parameter bestimmt vor allem die Releasezeit des Limiters von 0 (sehr schnell) bis 9 (sehr langsam).

Es ist zudem möglich, aus verschiedenen Herstellerpresets zu wählen, bei denen die Parameter entsprechend für ein Sendeformat voreingestellt sind. Diese Parameter können dann noch abgeändert und feineingestellt werden, und auf bis zu vier Userpreset-Speicherplätzen abgelegt werden. Die Presets, die für den Hörfunk in Frage kommen, sind „Radio Classical", „Radio Universal" und „Radio Speech". Aus den Parametern ergibt sich für jedes Preset eine andere maximale Verstärkungsänderung. Bei „Radio Classic" liegt dieses Maximum bei 13 dB, während die beiden anderen Presets bei 20 und 25 dB liegen. Daraus wird deutlich, dass bei einem klassischen Sendeformat kleinere Pegeländerungen angestrebt werden, um die Originaldynamik der Inhalte stärker beizubehalten. Bei Sprachformaten ist der Wert am höchsten, woraus deutlich wird, dass bei Sprachbeiträgen besonders große (und zumeist unerwünschte) Pegelsprünge vorliegen, die dadurch ein größeres Maß an Bearbeitung erfahren.

Jünger d07 bei Verwendung des Kompressors

Der Kompressor des Jünger D07 arbeitet dynamisch und kommt dann zum Einsatz, wenn die Level Magic deaktiviert ist (was, wie oben beschrieben, dem Einsatz eines Jünger D05 gleich kommt). Dynamisch bedeutet, dass nicht für jedes Pegelereignis dieselbe Kompression vorgenommen wird. Vielmehr bestimmt die Pegelstärke den Kompressionsgrad. Die gesamte Dynamik des Eingangssignals wird im Kompressor proportional übernommen, um die Dynamikverhältnisse zu bewahren. Kleine Eingangspegel erfahren eine größere Verstärkung als größere. Der Verstärkungsfaktor ist hier zwischen 1dB und 15 dB. Durch Kompression soll die Lautheit gesteigert werden. In einigen Parametern ist es möglich, den Bereich vorzugeben, in dem der Prozessor automatisch regelt. Um unerwünschte Nebeneffekte, die durch den Prozessor verursacht werden können, zu vermeiden, ist eine Anpassung der Parameter für bestimmte automatisierte Vorgänge notwendig, damit der Algorithmus die beste Reaktion gewährleisten kann. Dazu können zum Beispiel die Releasezeiten des Kompressors bzw. Limiters über Presets vorgegeben werden. Die Releasezeit ist ein sehr wichtiger Parameter für die Lautheit, weshalb die einstellbaren Prozessorzeiten diese am meisten beeinflussen. Presets währen zum Beispiel „Pop" mit Zeiten von 30ms – 2,5s, „Speech" mit 15ms – 1,2s oder „Classic" mit 150ms – 8s. Durch verschiedene Algorithmen

werden zugehörige Einstellungen für den Kompressor automatisch eingestellt und können lediglich mit der Wahl des Programmpresets beeinflusst werden.

Parameter, die zur Einstellung des Kompressors gewählt werden können, sind:
- Compr Ratio: Einstellung der in 2.2 beschriebenen Ratio zwischen 1.1 und 4.0
- Compr Prog: Auswahl eines Presets (uni, speech, pop, live, classic)
- Compr Range: größtmögliche Pegeländerung des Kompressors zwischen 0-20 dB

Weitere Parameter, die zur Grundkonfiguration des Gerätes bereitstehen, können der nachfolgenden Tabelle 2 entnommen werden.

Tabelle 2: Allgemeine Parameter des Jünger d07

Parameter	**Wertebereich/Einstellungen**	**Kurzbeschreibung**
Gain	-20 bis +20dB	Dieser Parameter bestimmt die Eingangsverstärkung.
Stereo	off/on	Parameter zur Kopplung von Regelkreisen für die Stereobearbeitung.
Filter 30Hz	on/off	Dieser Parameter aktiviert einen Tiefpassfilter für Frequenzen unter 30Hz, um Frequenzen zu unterdrücken, die die MPX-Leistung unnötig erhöhen.
15kHz	on/off	Dieser Parameter aktiviert einen Tiefpassfilter für Frequenzen 15kHz FIR-Filter, um Frequenzen zu unterdrücken, die die MPX-Leistung unnötig erhöhen.
Preemphasis:		
Pre Mode	50µs/75µs/off	Durch diesen Parameter kann die Preemphasis gezielt kontrolliert werden, um eventuelle Hubüberschreitungen durch die Anhebung hoher Frequenzen zu vermeiden (siehe Kapitel 3).
Pre Thresh		Dieser Wert bestimmt den Threshold der Preemphasis und kann nicht oberhalb des Threshold des Limiters liegen. Dadurch entsteht ein Headroom, der von hochfrequenten Signalanteilen genutzt werden kann.
Peak Limiter:		
Lim Thresh		Dieser Wert bestimmt den maximalen Ausgangspegel, um zu hohe Spitzenpegel ab der eingestellten Threshold keine Übersteuerung verursachen. Dieser bildet Threshold einen Referenzpunkt für den MPX-Limiter, die Preemphase und den Kompressor.
Lim Prog	pop, speech, uni, live, classic	Durch diesen Parameter können Einstellungen des Limiters dem Musikgenre entsprechend angepasst werden.
MPX-Power	Off/ -4 to +4dB	Dieser Wert dient zur Einstellung eines Threshold, um eine Überschreitung des Frequenzhubs zu vermeidend und die Energie des MPX-Signals begrenzt.
Expander:		
Exp Thresh	-20 bis -60 dBFS	Im Expander des D07 werden zu leise Signale und Störgeräusche unterdrückt. Wie in Kapitel 2.2 beschrieben senkt der Expander Signale unterhalb eines bestimmten Threshold ab. Die Extremvariante wäre das Gate.
Exp Range	0 bis -20 dBFS	Dieser Wert bildet die größtmögliche Pegeländerung durch den Expander.
Exp Attack	0,2 – 4s	Dieser Parameter ändert die Attack-Time des Expanders und dient der Vergrößerung des Signalrauschabstandes.

Auto-Balance:		
Bal Range	0 bis 20dB	Dieser Wert steuert die maximale Pegeländerung um Pegelunterschiede zwischen Stereokanälen auszugleichen, die durch Pegeländerungen auf der Übertragungstrecke entstehen.
Bal Time	1,2,5,10,20,40sec/min, 1h, 2h	Dieser Parameter stellt die Zeit ein, in der Pegelunterschiede zwischen Stereokanälen angeglichen wird.

4.1.2 Einbindung in den Hörfunk und Sendeablauf

Der Jünger d07 befindet sich im direkten Ausspielweg des Senders. Alle Signale, die gesendet werden, müssen ihn passieren. Techniker des Senders stellen die Parameter gemäß des Senderprofils ein. Während der Sendung werden in der Regel keine Änderungen vorgenommen, da das Ziel bei dessen Einsatz ja eine gleichmäßige Klangästhetik ist. Vielmehr müssen Änderungen mit sehr viel Geduld ausgetestet werden. Durch langes Zuhören von verschiedenen Programminhalten, was durchaus Tage dauern kann, werden Einstellungen getestet und geprüft. Die Bedienung des Gerätes erfolgt alternativ über direkte Eingabe an der Gerätetastatur, über Fernbedienung oder durch Softwaresteuerung an Computern.

Der Einsatz der AGC im Selbstfahrerbetrieb gestaltet sich für den Moderator schwierig. Da die AGC voll automatisch auf Pegeländerungen reagiert, würde sie für den Bereich ihrer Range und je nach Zeiteinstellung versuchen, Fade-Outs auszugleichen, der Fahrbewegung also entgegenzuwirken. Dieses Problem kann jedoch mit einer entsprechend eingestellten Range reduziert werden, sodass es den Betrieb nicht nachhaltig negativ beeinflussen sollte. Davon abgesehen kann der Jünger d07 aufgrund seiner kombinierten AGC- und Transientenprozessortechnik gut dafür eingesetzt werden, um Fehleinstellungen am Lautstärkeregler durch Selbstfahrerbetrieb automatisch auszugleichen. Dies trifft zum einen Sendebeiträge wie z.B. Werbung oder Jingles, und zum anderen die Angleichung unterschiedlich produzierter Musiktitel. Zudem ermöglichen die Presets Einstellungsmöglichkeiten für alle möglichen Sendeformate. Probleme, die durch die Regionalisierung verursacht werden, könnten mit dem Jünger d07 jedoch nur dann behoben werden, wenn alle Regionalstudios dasselbe Gerät mit identischen Einstellungen benutzen würden.

Als Zwischenfazit kann festgehalten werden, dass der Jünger d07 ein viel versprechendes Gerät zur Beseitigung von Lautheitsunterschieden ist. Die Level Magic ist innovativ und einzigartig, und die automatische Pegelkontrolle ermöglicht eine leichte Einbindung in den

Sendeablauf im Hörfunk. Die Handhabung ist zum einen einfach und übersichtlich, und zum anderen kann die Klangqualität über viele Parameter detailliert geregelt werden. Ein detaillierter Vergleich des Jünger d07 mit den nachfolgend vorgestellten Alternativprodukten erfolgt in Abschnitt 5.

4.2 Optimod-FM 8200

4.2.1 Funktionsweise

Beim Optimod-FM 8200 von der Firma Orban, wie er u.a. auch beim SWR verwendet wird, handelt es sich um ein Soundprocessing, in dem das ursprüngliche Signal in mehreren Schritten modifiziert wird. Das Soundprocessing im Optimod-FM 8200 besteht dabei aus Kompressor, Equalizer, AGC und Limiter. Allgemein wird dieses Gerät zur Begrenzung der Sendeleistung benutzt, aber auch, um in verschiedenen Schritten Lautheiten anzugleichen, oder dem Sender sein spezifisches Klangbild zu verleihen. Der Optimod-FM 8200 ist im Jahre 1992 erschienen und wurde zwischenzeitlich weiterentwickelt zu neueren Gerätetypen (Optimod-FM 8300, 8400 und 8500). Allerdings ist der Optimod-FM 8200 heutzutage immer noch weit verbreitet. Am grundsätzlichen Ablauf der Soundbearbeitung hat sich bei den neuesten Versionen des Optimod-FM (8300-8500) nichts geändert, sodass hier der „Klassiker" der Optimod-Reihe exemplarisch näher betrachtet wird.[6]

Den Optimod-FM 8200 gibt es in zwei Ausführungen. Zum einen bietet die Firma Orban einen Optimod-FM 8200 in einer 2-Band Struktur und zum anderen in einer Multi-Band Struktur mit 5 Bändern an.

2-Band Ausführung des Optimod FM 8200

In der 2-Band Struktur des Optimod FM 8200 gibt es wiederum zwei Varianten, zwischen denen gewählt werden kann. Zum einen die sog. „2-Band Normal Struktur" und zum anderen die „2-Band Purist Struktur". Der Unterschied besteht darin, dass die „Normal Version" eine größere Lautheit von etwa 3dB hat, da durch Phasendrehung die positiven und negativen Spitzen symmetrischer sind. Die „Purist Version" bietet eine konstante Gruppenlaufzeit im Frequenzbereich zwischen 30 Hz bis 15 kHz, verbunden mit Einbußen die Lautheit betreffend. Natürlich hängt es vom Anwendungsfall ab, welche Version besser geeignet ist. Wer also hörbare und somit störende Effekte durch Laufzeitunterschiede der Frequenzen hat,

[6] Die wichtigsten Neuerungen betreffen eine automatische Sprach-Musik-Erkennung, die Integration von HD Radio und parametrische EQ. Eine detaillierte Gegenüberstellung der Änderungen der Nachfolgergeräte gegenüber dem Optimod-FM 8200 kann der Broschüre von Orban (2005) entnommen werden.

und einen Sound so unverfälscht wie möglich anstrebt, sollte eine „Purist Struktur“ in Erwägung ziehen. Dennoch sollte abgeschätzt werden, ob auch der Endverbraucher dies bewusst bemerkt. „We believe that the audible effects of the frequency-dependent group delay in the Two-Band Structure are very subtle, at best, and are unlikely to be detected (let alone found objectionable) by your audience“(Orban 1991: 21).

Auch gibt es 15 verschiedene Hersteller-Presets für unterschiedliche Programmformate, die abgesehen von dem Preset „Classical“ alle von der „Normal Struktur“ abgeleitet sind. Beispiele für diese Presets wären „Classical“, „Hit Radio“ (Hard, Medium, soft), „Country“, „Jazz“, „Rock“ usw. Berücksichtigt werden dabei verschiedene sender- und hörerspezifische Aspekte, die dem Format entsprechen. Zum Beispiel ist der Dynamikumfang bei „Classical“ höher als bei „Hit Radio“, aber entsprechend die Lautheit bei „Hit Radio“ höher als bei „Classical“. Die Presets unterscheiden sich oberflächlich nur in der Less-More Einstellung, welche verschiedene Parameter im Speicher des Optimod verändert, und das Verhältnis von Lautheit, Density, Brightness und akustischen Verzerrungen modifiziert. Über die Full Control können verschiedene Parameter individuell verändert werden, um einen eigenen Klang zu erzeugen. Allerdings bleiben unterschiedliche Parameter unsichtbar und somit unveränderbar. Im Benutzerhandbuch wird vorgeschlagen, ein Preset zu wählen, das mit der Klangvorstellung am ehesten übereinstimmt, um dann von hier aus die Werte zu modifizieren und individualisieren. Die 2-Band Struktur besteht aus der AGC (Automatic Gain Control), einem Dualband Kompressor/Limiter, einem Hochfrequenz Limiter, einem Clipper zum Schutz vor Übersteuerung und einem Overshoot Compensator.

In den Full Control Einstellungen der 2-Band-Struktur kann auf die verschiedenen Bearbeitungskomponenten des Soundprocessing über verschiedene Parameter Einfluss genommen werden. Diese Parameter und Bearbeitungsschritte des Soundprocessings werden für die 2-Band-Struktur im Folgenden genauer beleuchtet:

- AGC DRIVE control: Dieser Wert bestimmt den Eingangspegel der AGC und somit den Umfang der Verstärkungsminderung. Auch wird der Wert der Verstärkungsminderung im Falle eines Unterschreiten des Threshold bestimmt, bei der die AGC dann „gegated“ bzw. eingefroren wird.
- 2B DRIVE control: Mit der *2-Band Drive Control* wird das Eingangssignal für den 2-Band Kompressor vorverstärkt. Dies beeinflusst in Abhängigkeit von der eingestellten Threshold im Kompressor die Lautheit. Der Parameter kann von 0-25dB eingestellt werden.

  Es kann mit diesem Parameter also Einfluss darauf genommen werden mit welcher Pegelstärke das Signal am Kompressorausgang ausgegeben wird, da durch die Signalstärke am Eingang bestimmt wird, mit welcher Kompressionsratio das Signal bearbeitet wird. Mit der 2-Band Drive Control können leise Signale also so verstärkt werden, dass sie über dem Threshold des Kompressors liegen und die Gesamtlautheit höher ist. Laut Orban liegt eine optimale Signaldämpfung für Musik und Sprache bei

etwa 10-15dB (vgl. Orban 1991: 25). Darunter verliert das Signal an Lautheit, allerdings gewinnt es an Dynamik, was vor allem bei Klassischen Musikformaten treffender erscheint.

- RELEASE dB/SEC control: Für die 2-Band Struktur ist ein Parameter die Kompression betreffend die *Release dB/sec control,* mit dem die Geschwindigkeit der Release-Time eingestellt werden kann. Dabei sind Werte zwischen 1dB/sec (langsam) – 20 dB/sec (schnell) möglich.
  Aus langsameren Releasezeiten resultiert eine größere Dynamik, während bei schnellen eine konstantere Lautheit die Folge ist. Vor allem bei schnellen Zeiten muss darauf geachtet werden, dass ab einem gewissen Punkt keine Lautheit mehr gewonnen werden kann (ca. 10dB/sec), und das Signal an Qualität und Definition verliert. Auch verändert sich der Klang des Signals bei Zeiten ab 8 dB/sec und der Stärke der Verstärkungsminderung in dem 2-Band Kompressor, weshalb es sinnvoll sein kann, die AGC einzuschalten, damit der 2-Band Kompressor mit einem konstanten Signal gespeist wird, welches zum gewünschten Kompressionsgrad führt. Bei langsamen Releasezeiten und starker Kompression besteht die Gefahr, dass sich leise Passagen bei großer Dynamik im Signal unnatürlich anhören. Vor allem mit vorgeschalteter AGC kann dieser Effekt besonders stark sein. Es kann sinnvoll sein, diese abzuschalten und die Dämpfung alleine dem Kompressor zu überlassen, um einer zu starken Kompression vorzubeugen und das Signal natürlicher klingen zu lassen. Die Release-Time des Kompressors wird von der *Release dB/sec control* aber auch von der Dynamik und der Pegelstärke des Signals bestimmt. Bei der Einstellung der *Release dB/sec control* sollten das Sendeformat und die daraus resultierende Hörerzielgruppe beachtet werden. „In general, you should use faster release times for mass-appeal pop or rock formats oriented toward younger audiences, and slower release times for more conservative, adult-oriented formats (particularly if women are an important part of your target audience).“ (Orban 1991: 25)
- BASS COUPLING % control: Mit der Bass Coupling % control können die Bassanteile und somit das Verhältnis von Bass zu den anderen Frequenzen eingestellt werden. Der Kompressor verfügt über zwei Bänder, von welchem eines für die bassigen Frequenzen unter ca. 200 Hz verantwortlich ist.
- HF LIM SOFT→HARD control: Dieser Parameter bestimmt, in welchem Ausmaß der Prozessor eine Überbetonung von hohen Frequenzen aufgrund der Preemphasis verhindert. Bei einer Einstellung in Richtung „soft“ werden diese weitestgehend vom Limiting kontrolliert, was weniger Übersteuerung verursacht, wie es bei einer Einstellung in Richtung „hard“ der Fall sein kein, was dann vor allem vom Clipper kontrolliert wird.
- CLIPPING dB control: Mit der *Clipping dB control* kann die Stärke des Eingangssignals des Clippers (extremer Limiter) gesteuert werden, und bestimmt folglich, wie stark die Spitzenpegel durch den Clipper limitiert werden. Die Clipping dB control hat hierbei einen Einstellungswert zwischen -4 db - +2 dB.
  Die *Clipping dB control* und die im nächsten Punkt beschriebene final clip drive control regulieren das Verhältnis von Lautheit und Verzerrung durch Übersteuerung. Der Clipper unterdrückt die Signalspitzen auf einen gewünschten Wert, wodurch der Abstand zwischen Pegelspitzen und dem Mittleren Pegelwert eingestellt werden kann. Die Clipping dB control steuert die Stärke des Signals und somit, wie viel von diesem die Clipper anspricht. Bei einem hohen Wert werden die Clipper also stärker angesprochen, was zur Folge hat, dass die Signalspitzen näher an den mittleren Pegel rücken, was dann natürlich eine größere Lautheit verursacht. Je stärker der Clipper aber angesprochen wird, desto mehr vergrößert sich auch die durch den Clipper verursachte Verzerrung. Bei geringerer Einstellung verringert sich die Lautheit, aber das Signal wird

weniger Verzerrt und klingt reiner. Auch hier sollte eine Einstellung in Abhängigkeit des Sendeformats und auch in Abhängigkeit davon, wie stark die Lautheit schon durch die kompressionsrelevanten Einstellungen angehoben worden ist, gefunden werden, und wie viel Verzerrung bei Steigerung der Lautheit in kauf genommen werden kann.

- FINAL CLIP DRIVE control: Dieser Wert bestimmt den Level, mit dem der Final Clipper vor Übersteuerung der Spitzenpegel schützt. Es wird empfohlen, bei dieser Einstellungsoption die vom Preset voreingestellten Werte zu übernehmen, da eine optimale Einstellung viel Erfahrung und Zeit benötigt – Werteänderung von nur 0,1 dB machen bereits hörbare Unterschiede der Verzerrung.
- GATE THRESHOLD dB control: Dieser Wert bestimmt den kleinsten Eingangspegel, der noch als Sendeinhalt verarbeitet wird. Alle Pegel unterhalb dieses Wertes werden als Stör- oder Hintergrundgeräusche gewertet, was ein Einfrieren der Kompressorparameter zur Folge hat.
- AGC ON/OFF control (selbsterklärend)
- 30Hz HPF control: Mit diesem Wert kann ein 30 hHz Hochpassfilter eingeschaltet werden. Dieser schneidet Frequenzen unter 30 Hz noch vor der AGC ab. Die Frequenzen unterhalb 30Hz werden von fast keinem Musikinhalt mehr genutzt. Zudem würden, falls die Mikrophone nicht „gegated“ sind, unerwünschte „pop“-Geräusche übertragen. Um diese zu beseitigen und um diese unnötige Energie aus dem Gesamtsignals zu filtern, wird dieser Parameter gesetzt.

Multi-Band Ausführung des Optimod FM 8200

Der 2-Band Kompressor entspricht einem Multiband-Kompressor mit zwei verschiedenen Bändern mit unterschiedlichen Frequenzbereichen. In diesen Bändern können die Parameter getrennt voneinander eingestellt werden. In dem 2-Band Kompressor hat das erste Band einen Bereich von 200 Hz – 15 kHz und Band 2 den Bereich von 30Hz – 200 Hz.

Neben der 2-Band Variante ist der Optimod FM 8200 auch als Multiband Ausführung erhältlich, was bedeutet, dass nicht nur zwei unterschiedliche Frequenzbänder wie in der 2-Band Ausführung, sondern fünf unterschiedlich konfigurierbare Bänder mit unterschiedlichen Eigenschaften zur Verfügung stehen. Im Allgemeinen können bei einem Multi-Band Kompressor für jedes Frequenzband die Ratio, die Attack- und Releasetime, der Threshold und die Verstärkung getrennt angepasst werden (vgl. Abschnitt 2.2.1). Es kann ganz gezielt für die einzelnen Frequenzgruppen ein passender Kompressionsgrad eingestellt werden, was die ursprüngliche klangliche Ästhetik stark verändern kann. Zum Beispiel könnten hohe Frequenzen komprimiert und verstärkt werden, während ein Mittenspektrum in seiner Dynamik kaum verändert wird. Ein Problem im Hörfunk ist dabei, dass jedes Signal über diese Parameter verändert wird, da alle Informationen über denselben Signalweg laufen. Das heißt, dass im Optimod eine Defaulteinstellung der Parameter, die Lautheit und Klangästhetik betreffen, gefunden werden muss, die für alle Programminhalte ungefähr passend ist. Die einzelnen Parameter können hierzu am Gerät manuell eingestellt werden, oder aber aus verschiedenen Hersteller-Defaulteinstellungen ausgewählt werden. In dem System des

Optimod-FM 8200 sind die Parameter für die Kompression vorkonfiguriert und ändern sich dynamisch mit der Eingangspegelstärke für jedes Band des Kompressors.

Bei der Multi-Band Struktur gibt es ebenfalls Presets. Wählbar sind hier „5B Slow“, „5B Medium Slow“, „5B Medium Fast“ und „5b Fast“. Diese Presets können wie auch schon die oben genannten Presets der 2-Band Struktur über den More-Less Parameter zusätzlich beeinflusst werden. Wie bei den anderen Presets werden die hier wählbaren Presets sowohl durch hörerspezifische Faktoren und Gewohnheiten, als auch durch das Musik- und Sendeformat bestimmt. Zum Beispiel steht die Einstellung „Slow“ für Programminhalte, die vornehmlich von Erwachsenen gehört werden – und das über einen längeren Zeitraum. Die vier Presets unterscheiden sich in ihrer Lautheit, ihrer Dynamik, Brillanz und in ihrem Klangcharakter. Zum Soundprocessing der Multiband Struktur gehören eine AGC, ein Equalizer, ein Multi-Band downward Expander, ein Multi-Band Kompressor, ein Clipper zum Übersteuerungsschutz und einem Overshoot Compensator.

Die einzelnen Parameter der Multiband Struktur werden im Folgenden kurz beschrieben:
- AGC DRIVE control: (siehe 2-Band Struktur)
- AGC RELEASE dB/SEC control: Mit diesem Parameter kann man die Regelzeit der AGC einstellen. Werte von 0,5dB/sec (slow) bis 20dB/sec (fast) sind dabei möglich. Dieser Wert sollte in Bezug auf die MULTI-BAND RELEASE control eingestellt werden, da ihre klangliche Wirkung unterschiedlich ist. Grundsätzlich aber kann gesagt werden, dass die Einstellung der AGC einen gleichmäßigeren Sound produziert, da er nicht wie der Multi-Band Kompressor Frequenzverhältnisse ändert.
- MULTI-BAND DRIVE control: Dieser Parameter bestimmt die Pegelstärke, mit der der Multi-Band Kompressor gespeist wird. Werte zwischen 0 und 25 dB sind möglich. Dadurch wird wie bei der 2-Band Struktur der Grad der Kompression gewählt, und somit auch die Steigerung der Lautheit auf Kosten der Dynamik. Bei Überkompression kann es zu weiteren negativen Nebeneffekten kommen, die den Klang gestresster und flacher wirken lassen.
- MULTI-BAND RELEASE control: Der Parameter ist wählbar zwischen „slow“, „medium slow“, „medium fast“ und „fast“ und ist der Presetparameter der Multi-Band Struktur (siehe oben).
- MULTI-BAND CLIPPING control: (siehe 2-Band Struktur)
- LOW BASS BOOST control: Dieser Parmameter dient als Equalizer zur Einstellung von tiefen Frequenzen. Es gibt zwei Einstellungsmöglichkeiten mit unterschiedlicher Charakteristik: 2P und 3P. 2P hat einen Shelvingumfang von 0-12dB in 2dB-Schritten mit einem Anstieg von 12dB/Oktave. 3P hat einen Umfang von 0-12dB in 2dB-Schritten bei 110Hz und unterhalb einen Anstieg von 18dB/Oktave.
- MID BASS BOOST control: Auf dieselbe Weise wie die LOW BASS BOOST control bietet dieser Parameter 12dB/Oktave bei 200Hz. Dieser Wert kann sich positiv auf Sender auswirken, bei denen die Zielgruppe vornehmlich auf kleineren Abhöranlagen mit dünnem Klang rezipiert. In besseren Hörumgebungen kann der MID BASS BOOST aber zu einem „matschigen“, „dumpfen“ Klang führen.
- PRESENCE dB control: Dies ist ein Parameter zur Steuerung eines 6B/Oktave

Peakequalizers, der bei 3 kHz gemittelt ist und verschiedene Bänder des Multi-Band Kompressors beeinflusst. Das Band bei 3,7 kHz ist sehr nahe an den 3kHz dieses Parameters, weshalb die eingestellte Verstärkungsminderung dieses Bandes Einfluss auf den Parameter hat und diesem entgegenwirkt. Bei einer kleinen Verstärkungsminderung kann eine Anhebung der Präsenz einen starken Lautheitsanstieg dieses Frequenzbereiches erzeugen. Bei Sendeinhalten, die in diesem Bereich stark vertreten sind, kann dieser Bereich durch das Kompressorband stärker komprimiert werden. Die Lautheit wird gleichzeitig im 6,2 kHz Band reduziert, was mit der BRILLIANCE dB control kompensiert werden kann.

- BRILLIANCE dB control: Dieser Parameter verstärkt Frequenzen in Band 5 (6,2 kHz und höher). Dieser Parameter hat einen Effekt, der vergleichbar ist mit einem Exciter (Obertongenerator, um Attack und Brillanz von Instrumenten zu erhöhen). Anders als der PRESENCE Parameter hört man diesen Effekt stets.
- FINAL CLIP DRIVE control: (siehe 2-Band Struktur)
- GATE THRESHOLD dB control: Dieser Wert bestimmt den kleinsten Eingangspegel, der noch als Sendeinhalt verarbeitet wird. Alle Pegel unterhalb dieses Wertes werden als Stör- oder Hintergrundgeräusche gewertet, was ein Einfrieren des Kompressors zur Folge hat. Im Unterschied zur 2-Band Struktur friert dieser Parameter in der Multi-Band Struktur die Bänder 2 und 3 schnell auf der mittleren Verstärkungsminderung ein, um eine Klangfarbenänderung durch die Mittenfrequenzen zu vermeiden. Auch wird der Wert der Verstärkung in den Bändern 4 und 5 unabhängig eingefroren. Der Verstärkungswert im tiefsten Band wird in Abhängigkeit der DJ BASS BOOST control ebenfalls unabhängig gesetzt. Sollte die GATE THRESHOLD dB control aus sein, ist die DJ BASS BOOST control ebenfalls deaktiviert.
- DJ BASS BOOST control: Wenn bei Männerstimmen eine zusätzliche Anhebung der Bassanteile vorgenommen werden soll, kann dieser Parameter aktiviert werden.
- HF CLIPPING dB control: Dieser Wert setzt die Threshold des Clippers für Band 4 und 5 mit Referenz zur MULTI-BAND CLIPPING control zwischen 0 – 6 dB. Dieser Parameter ist mit Vorsicht zu verwenden, da es schnell zu Übersteuerung und Verzerrung kommen kann.
- BASS COUPLING % control: (siehe 2-Band Struktur)
- DOWNWARD EXPANDER THRESHOLD control: Dies bestimmt, unter welchem Wert der Expander den Verstärkungslevel des gesamten Systems senkt, und die hohen Frequenzen mit einem Low Pass Filter bearbeitet, um Störgeräusche zu vermeiden.
- 30Hz HPF control: (siehe 2-Band Struktur)
- AGC ON/OFF control (selbsterklärend)

4.2.2 Einbindung in den Hörfunk und Sendeablauf

Wie auch der Jünger d07 befindet sich der Optimod-FM 8200 im direkten Ausspielweg des Senders. Und wie auch beim Jünger d07 stellen optimalerweise Techniker die Parameter entsprechend des Senderprofils ein (vgl. Abschnitt 4.1.2 für Details). Der Unterschied zum Jünger d07 besteht darin, dass der Optimod eine deutlich größere Anzahl an Parametern zur Verfügung stellt. Das erfordert ein gut geschultes und erfahrenes Personal sowie genügend Zeit, um ideale Einstellungen vornehmen zu können. Die komplexen Einstellmöglichkeiten bieten zum einen ein sehr tiefes und genaues Eingreifen in die Klangbearbeitung, können aber auch zu Fehleinstellungen führen. Vor- und Nachteile hinsichtlich Selbstfahrerbetrieb,

Angleichung von Lautheitsunterschieden und Regionalisierung entsprechen denen des Jünger d07 (Abschnitt 4.1.2). Die gesamte Dynamikbegrenzung in der 2- und Multi-Band Struktur wird von der Summe aus AGC und dem 2-Band/Multi-Band Kompressor bestimmt. Auch soll durch die Anpassung an einen bestimmten Pegelwert eine Übersteuerung im weiterführenden Bearbeitungsprozess verhindert werden. Die Regelzeit beträgt meist einen längeren Zeitraum, da ein längerer kontinuierlicher Lautstärke An- oder Abstieg, im Gegensatz zu kurzen Pegelsprüngen, nicht so auffallend ist. Wenn also am Mischpult vor allem im Selbstfahrerbetrieb Fahrfehler, also ungewollte Pegelsprünge entstehen, werden diese von der AGC des Optimod abgefangen. Das verursacht aber auf der anderen Seite Probleme bei beabsichtigten Pegeländerungen wie z.B. bei Fades oder gewollten Dynamikänderungen innerhalb eines Liedes über einen längeren Zeitraum, oder falls die AGC aufgrund des letzten leiseren Programminhaltes, z.B. Nachrichten, den Pegel angehoben hat und danach mit einem sehr lauten Eingangssignal gespeist wird. Das hat ein zu starkes Signal zur Folge, welches dann wieder gedämpft werden muss. Die Dämpfungszeit kann allgemein kürzer sein als die Signalverstärkungszeit, da schnellere Signalsprünge beim Absenken zum einen hörerseitig weniger Aufmerksamkeit auf sich zieht und eine Vermeidung von Übersteuern rasch erfolgen sollte, und zum anderen würden kurze Pegelspitzen im Signal bei kurzer Verstärkungsreaktionszeit zu einem falschen Verstärkungsfaktor führen, da ja Pegelspitzen nicht maßgeblich für die Lautheit und die abgegebene Multiplexleistung sind. Wenn ein Lied ausgefadet werden soll, arbeitet die AGC bis zu einem Grenzwert gegen die Fahrbewegung am Fader und versucht das Signal auf konstantem Pegel zu halten. Bei Erreichen des Grenzwertes und dem Verlassen des Arbeitsbereiches der AGC fällt das Signal dann rapide ab. Es ist also schwierig, einen schönen Fade zu fahren und benötigt eine gewisse Erfahrung im Umgang mit der AGC, wenn sich diese im Signalweg befindet. AGC´s werden oft mit look-ahead Funktion ausgestattet, was nicht immer vorteilhaft ist, da dies meist auch Latenzzeiten von einigen Millisekunden zur Folge hat und zur gesamten Verzögerungszeit der Klangbearbeitung beiträgt. Wenn Beispielsweise der Moderator das Ausgangssignal nach dem Soundprocessing abhört, hätte das zur Folge, dass gesprochenes Wort und gehörtes Signal nicht synchron wären, und den Sprachrhythmus und Sprachmelodie negativ beeinflussen. Um dem Sprecher aber die Möglichkeit zu geben das resultierende Signal der Klangbearbeitung zu hören, muss es Abhörpunkte geben, bei denen im Sprachweg die selbe Signalverzögerung integriert ist, die Latenzzeit einen bekannten Wert beträgt, oder eben das Gerät eine abwählbare look-ahead Funktion ermöglicht.

Alles in allem kann der Optimod-FM 8200 flexibel zur Lautheitsangleichung eingesetzt werden. Auffällig ist die Vielzahl an einstellbaren Parametern, mit deren Hilfe die Klangqualität gezielt beeinflusst werden kann – was jedoch auch ausreichend Zeit für die Feinabstimmung beansprucht.

4.3 Dolby DP600

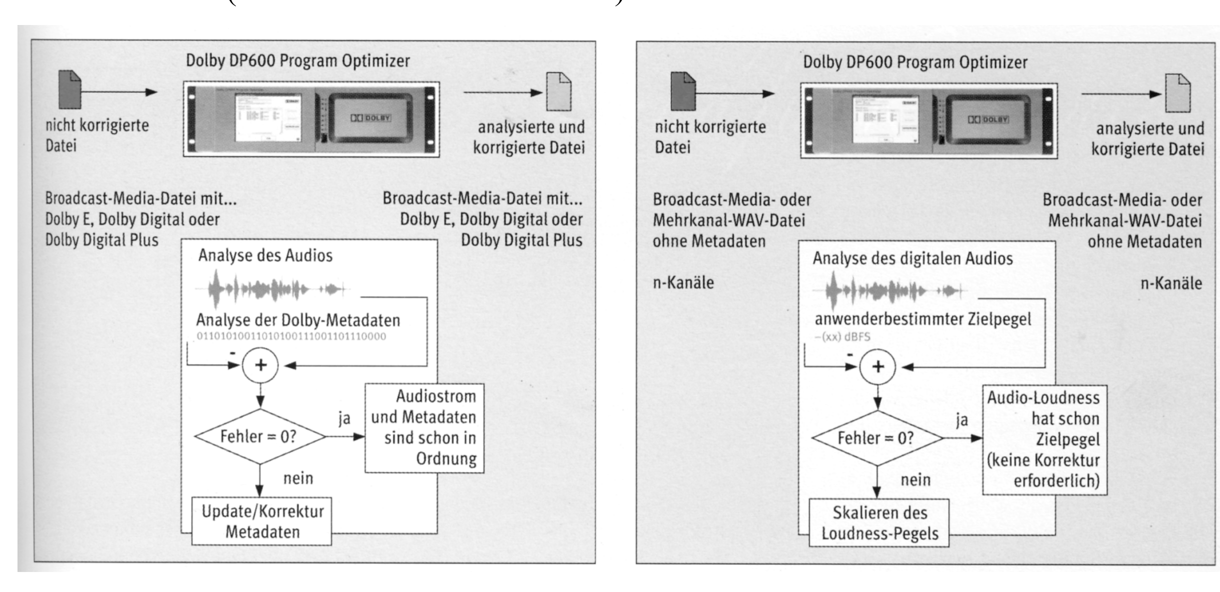
4.3.1 Funktionsweise

Beim dem Dolby DP 600 Program Optimizer handelt es sich um eine neue Form von Soundprocessing, wofür Dolby 2009 sogar den „Primetime Emmy Award“ von der „Academy of Television Arts & Sciences“ verliehen bekommen hat. Die Lautheitsanpassung und Audionormalisierung soll unter Verwendung von Metadaten und Datenbanken durch den DP600 automatisiert werden. Da der Sendeablauf eines Radiosenders mittlerweile einen sehr starken Anteil an digitalgestützten Systemen vorweist, bietet der DP600 von Dolby eine gute Alternative zu herkömmlichen Bearbeitungsprozessen. In einem dateigestützten Sendeablauf bietet er Analyse und Korrektur von Lautheit für die heute gängigen Audiodateiformate an. Es gibt den Dolby DP600 in zwei Ausführungen. Die Basisausführung bietet die eben angesprochene Lautheitsanalyse und Korrektur. Die erweiterte Ausführung (DP600-C) beinhaltet alle Funktionen des Basismodells und zusätzlich kann das Gerät zur Kodierung, Decodierung und Konvertierung verschiedener Daten verwendet werden. Auch ist eine Aufbereitung von 2-Kanaligen Audiodaten (Stereo) hingehend zu Mehrkanal 5.1 möglich.

Um eine Lautheitsanpassung vorzunehmen, werden die gegebenen Audiodaten im ersten Schritt analysiert und im zweiten Schritt angepasst. In der Lautheitsmessung stützt sich der DP600 auf psychoakustische Erkenntnisse, wie sie in Kapitel 2 aufgeführt wurden. In dem dazu verwendeten Messgerät, dem sog. Dolby LM100, werden hierfür drei unterschiedliche Frequenzbewertungen verwendet, wie sie auch in Kapitel 2.2 beschrieben wurden. Unter anderem kann er für die L_{eq}-Messung mit A-Bewertung, oder mit dem von ITU-R BS.1770 empfohlenen Standard, d.h. der RLB-Kurve, konfiguriert werden. Weiter verfügt das Messsystem über die so genannte „Dialogue Intelligence“. Diese unterbricht eine Messung, wenn das Programmsignal keine Sprache enthält. Die Messung wird dann nur auf Basis von Sprachinformationen durchgeführt, was der Logik des Hörers entsprechen soll, wenn dieser die Lautstärkeeinstellung aufgrund von Sprache als Kriterium nutzt (vgl. Henle/France 2007: 264).

Nach der Messung der Lautheit erfolgt die Korrektur des entsprechenden Files. Diese hängt davon ab, ob das Audiodateiformat Metadaten beinhaltet oder nicht. Metadaten sind in diesem Fall begleitende Dateien, die Informationen über eine Datei und deren Eigenschaften dokumentiert. Der DP 600 bestimmt oder korrigiert in den Metadaten einen bestehenden Wert beziehungsweise eine Information über die Lautheit des Files. Über diesen Wert soll die Lautheit unterschiedlicher Daten angeglichen werden. Dabei wird der Bitstrom der Audiodaten analysiert und mit der entsprechenden Frequenzbewertungskurve gewichtet. Anschließend wird dieser mit den bereits hinterlegten Metadaten verglichen und bei einer Abweichung eine Korrektur der Metadaten vorgenommen (siehe Abbildung 16).

Abbildung 16: Lautheitskorrektur von Audiodateien mit (links) und ohne (rechts) Metadaten (nach Henle/France 2007: 265)



Es können auch Lautheitsanpassungen an Files durchgeführt werden, die keine Metadaten enthalten, wie z.B. MPeg1 Layer 2, was ein gängiger Datentyp beim SWR ist, oder LPCM. Für diese Files ohne Metadaten findet der Vergleich zwischen Audio Bitsrom und einer benutzerdefinierten Ziellautheit statt, welche in dBFS angegeben wird. Ist das File nach der Analyse ungleich der Ziellautheit, wird die Lautheit des Files neu skaliert, das heißt eine Verstärkung oder Dämpfung des Audiomaterials selbst, bis die Werte und schließlich die Lautheiten übereinstimmen. Bei Übereinstimmung wird das File nicht verändert. Über einen einstellbaren Toleranzbereich in dB kann außerdem angegeben werden, innerhalb welchem dann keine Anpassungen vorgenommen werden. In der Lautheitsanpassung über Metadaten soll in dem Dynamikumfang der Originaldaten nicht eingegriffen werden. Die Lautheitsanpassung der Musik und Sprachdaten werden nur allein in den Metadaten

hinterlegt, und die Originaldatei nicht verändert. Das ist ein großer Vorteil, falls sich Gegebenheiten verändern, da immer auf den Ursprung zurückgegriffen werden kann und die Datei non-destruktiv bearbeitet wurde.

Die von Dolby angegebenen Filetypen, die eine Lautheitsanalyse und -korrektur ermöglichen, sind u.a. Dolby Digital (AC-3), Dolby Digital Plus (E-AC-3), Dolby E, MPEG-1 Layer2 und PCM (vgl. Dolby 2008: 4).

Wie bereits angedeutet ist es dem Dolby DP600 neben der Lautheitsanpassung in der erweiterten Version auch möglich, Audiodateien zu codieren, decodieren und konvertieren. Bei einer Lautheitsangleichung von Mehrkanalsignalen können bei einem Downmix für jeden einzelnen Kanal entsprechende Lautheitsparameter in den Metadaten übertragen, damit bei einer Zusammenfassung in eine Zwei-Kanal Stereosumme die einzelnen Kanäle entsprechend gewichtet werden (vgl. Kapitel 2.2.2). In schneller als Echtzeit können verschiedene Techniken wie Dolby E, Dolby Digital und Dolby Digital Plus miteinander und auch mit der Lautheitskorrektur kombiniert werden, wobei die Decoder mit Mehrkanal-Wave-Datei mit Metadaten arbeiten. Auch beim Encodieren können die Metadatenparameter, falls nicht vorhanden, entsprechend der Metadatenfunktion automatisch generiert werden und für das Programm passend gesetzt werden. Die Tonqualität kann sich bei einer Transcodierung, also einer Wandlung zwischen Formaten, allerdings verschlechtern, da bei der Entwicklung eine gute Tonqualität bei nur einem Codierungszyklus im Vordergrund stand.

4.3.2 Einbindung in den Hörfunk und Sendeablauf

Der Dolby DP600 befindet sich im Gegensatz zu den oben vorgestellten Geräten nicht im direkten Ausspielweg eines Radiosenders. Vielmehr dient er der Aufbereitung der unterschiedlichen Sendedatenbanken. Die eingehenden Sendeinhalte – das können z.B. neu integrierte oder alte Inhalte von Archivservern sein – werden dann zunächst vom DP 600 für die oben genannten Aufgabengebiete bearbeitet und schließlich in die Datenbank der ausspielbereiten Inhalte abgelegt. Das Gerät ist auf drei unterschiedliche Weisen steuerbar:

1) In der *manuellen Steuerung* können über ein Web-Interface Individuelle Konfigurationen von Processingaufgaben vorgenommen werden.
2) In der *externen Steuerung* können die Processing-Engines des DP600 als Webservice über eine offene Schnittstelle von anderen Geräteanbietern in die bestehende Umgebung integriert werden. Das ermöglicht eine Integration des DP600, ohne den laufenden Betrieb zu stören.

3) In der Betriebsart zur *automatischen Bearbeitung* eines „Hot Folders“ können vom Benutzer verschiedene Profile definiert werden, die die Verarbeitung von Dateien steuern. Nach Vorgabe der Einstellungen bearbeitet der DP600 dann neu erkannte Dateien im Hot Folder automatisch. Danach wird diese Datei in ein Dateiverzeichnis abgelegt und zur weiteren Verwendung bereitgestellt.

Der Dolby DP600 ist als intelligenter Netzwerkknoten mit den Programmarchiven und dem Play-Out-Server verbunden. Eingehende Daten werden vom DP600 in ihrer Lautheit gemessen und korrigiert, und anschließend an die Bibliothek der zum Senden bereiten Daten weitergegeben. Alle drei eben erwähnten Steuerungsmethoden können dabei angewandt werden. Der Dolby DP600 kann im Sendeablauf verschiedene Aufgaben übernehmen. Er bietet dabei eine Bereitstellung neuer Programminhalte (Werbung, Musik, usw.) nach einer Lautheitsangleichung auf dem Play-Out-Server, Audiotranscoding von unterschiedlichen Audioformaten und Qualitätssicherung. Bereits bestehende Inhalte aus Programmarchiven können schneller als in Echtzeit analysiert, korrigiert und transcodiert werden, und auf Archivservern bereitgestellt werden. Datenformate können mit Metadaten codiert oder decodiert werden.

Insgesamt betrachtet bietet der Dolby DP600 für einen dateigestützten Sendeablauf eine gute Alternative zu herkömmlichen Soundprocessings, um die Lautheit anzugleichen. Die Lautheit wird mit psychoakustischen Hintergründen dem Gehör entsprechend bewertet, was bei anderen Geräten mit vielen Parametern dem subjektiven Empfinden des einstellenden Technikers unterliegt, und eben nicht allgemeingültigen Forschungen entspricht. Darüber hinaus ist er leicht in den Sendeablauf integrierbar. Probleme bei Faderfahrten können nicht zu erwarten sein, da sich der DP600 nicht im direkten Ausspielweg befindet. Allerdings wird es nötig sein, separate Geräte in den Sendeausspielweg zu schalten, da der DP600 über keinerlei Funktionen verfügt, die eine Überschreitung des Sendehubs oder der MPX-Leistung gewährleisten – wie z.B. der Jünger d07 oder Optimod-FM 8200. Auch zur Individualisierung des Senderklangs müssten andere Geräte eingebunden werden. Zur Korrektur der Live-Sprache des Moderators müssten ebenfalls andere herkömmliche Soundprozessoren zusätzlich verwendet werden. Der DP600 bietet nur dann eine Lautheitsanpassung von Informationen, wenn diese im Vorfeld zur Bearbeitung bereitgestellt wurden.

5 Vergleich der Lösungsansätze

In diesem Kapitel sollen nun die Lösungsansätze Jünger d07, Optimod-FM 8200 und Dolby DP600 anhand von zehn analytischen Kriterien miteinander verglichen werden.

1) Finanzieller Aufwand

Bei diesem Kriterium wird der finanzielle Aufwand analysiert, der nötig ist, um die verschiedenen Geräte in den Sendeprozess zu integrieren.

Der *Jünger* d07 ist im direkten Vergleich am kostengünstigsten mit ca. 4000 Euro Anschaffungskosten (und optional weiteren ca. 1600 Euro für ein Remote Control Panel).[7] Der *Optimod-FM 8200* ist nur noch gebraucht zu erhalten, und seine Nachfolgegeräte liegen im Neupreis mit ca. 8400 (Optimod-FM 8300) bzw. ca. 16000 (Optimod-FM 8500) Euro deutlich über dem Preis des Jünger d07. Tendenziell am teuersten in seiner Anschaffung ist der *Dolby DP600*, der je nach Ausführung zwischen 12000 und 18000 Euro kostet.

2) Schwierigkeit und Komplexität der Parametereinstellung

Ein weiteres Kriterium bildet die Komplexität und Schwierigkeit bei der Einstellung der Geräte. Dabei wird verglichen, wie schwierig und zeitaufwändig es i.d.R. ist, Einstellungen mit dem erwünschten Klangergebnis vorzunehmen, und ob diese in einer verständlichen und benutzerfreundlichen Umgebung präsentiert werden.

Der *Jünger d07* hat sehr übersichtliche und überschaubare Parameter zur Einstellung des Soundprocessings. Über Presets kann eine Vorauswahl von Parametereinstellungen nach dem Programmformat ausgewählt und feineingestellt werden, was eine gewisse Zeit beansprucht, da alle Sendeinhalte überprüft und abgewartet werden müssen. Ähnlich ist dies auch beim *Optimod-FM 8200*. Dieser bietet im Unterschied zum Jünger d07 aber wesentlich mehr Parameter an, was seine Bedienung komplizierter und langwieriger macht, da mit viel Geduld und Erfahrung die gewünschte Klangqualität zu erreichen ist. Deshalb ist es beim Optimod-FM 8200 empfehlenswert, von einer Preseteinstellung auszugehen und anschließend die Parameter feineinzustellen. Der *Dolby DP 600* dagegen ist sehr überschaubar einzustellen. Es müssen nur Einstellungen zur Einbindung in das Netzwerk und Aspekte zur Dateiverwaltung angegeben werden. Die Lautheit betreffend muss nur eine Auswahl getroffen werden, mit welcher Bewertungskurve die Lautheitsanalyse erfolgen soll und auf welchen gewünschten Wert korrigiert werden soll.

[7] Alle hier angegebenen ca.-Preise verstehen sich zzgl. MwSt.

3) Variabilität / Vielseitigkeit / Parametervielfalt

Mit dem nächsten Kriterium wird verglichen, wie variabel und vielseitig die Geräte den Klangansprüchen von Sendern angepasst werden können und wie groß die Parametervielfalt ist.

Der *Optimod-FM 8200* sowie der *Jünger d07* können alles in allem sehr variabel eingesetzt werden, um den Klang der Musik an das gewünschte Senderprofil anzupassen. Vor allem beim *Optimod-FM 8200* kann über die große Parameterzahl ein sehr individuelles Klangbild des Senders erzeugt werden. Über die Parameter für die AGC und der Kompressoren kann Einfluss auf die Lautheit, Dynamik und Frequenzgewichtung genommen werden. Beim *Dolby DP 600* wird nicht auf die Klanggestaltung eingegangen. Direkte Parameter zur Individualisierung sind nicht vorgesehen.

4) Für welche Sendeformate ist das Gerät geeignet?

Ein weiteres Kriterium ergibt sich daraus, für welche unterschiedlichen Sendeformate die Geräte allgemein geeignet sind.

Der *Jünger d07* und der *Optimod-FM 8200* sind prinzipiell für alle Sendeformate geeignet und bieten über ihre Presets Voreinstellungen für fast alle Musikgenres, aber auch für speziellere Sprachformate wie z.B. Live-Sport. Bei fast allen Sendeformaten ist aber meist ein Kompromiss der Einstellungen zwischen Musik und Sprache nötig, weshalb es vorkommen kann, dass die Einstellungen bei außergewöhnlicher Frequenzverteilung des Audiosignals nicht optimal sein können. Der *Dolby DP600* ist sehr gut geeignet für alle Sendeinhalte, die in digitaler Form archiviert werden können. Nicht vorgesehen ist er aber für die Bearbeitung von Moderation oder anderen Livesignalen.

5) Wie gut ist das Gerät zur Angleichung von Livebeiträgen geeignet?

Ein wichtiges Kriterium bildet die Frage, wie und ob die Lösungsansätze in der Angleichung von Livebeiträgen (z.B. Moderatoransagen und andere Beiträge, die nicht auf einem Speichermedium vorliegen) angewandt werden können.

Wie bei Kriterium 4) schon erwähnt, ist der *Dolby DP600* nicht für die Bearbeitung von Livebeiträgen vorgesehen. Es können also nur Inhalte bearbeitet werden, die schon als Datei vorliegen. Beim *Jünger d07* und beim *Optimod-FM 8200* können hingegen Livebeiträge wie Moderation in Echtzeit bearbeitet werden. Da sich diese Geräte im direkten Ausspielweg des Senders befinden, läuft sämtliches Audiomaterial durch das Gerät und wird dort bearbeitet.

6) Sind individuelle Einstellungen pro Beitrag automatisiert möglich?

Ein weiterer Punkt ist die Frage, ob Einstellungen der Lautheitsangleichung pauschal bzw. als kompromisshafter Mittelweg für eine Sendestrecke eingestellt werden, oder ob die Lautheit für jeden Beitrag separat automatisiert angepasst wird.

Bei dem *Jünger d07* und dem *Optimod-FM 8200* ist keine individuelle Einstellung pro Beitrag möglich, da alle Inhalte in Echtzeit bearbeitet werden. Deshalb ist es auch so wichtig, dass eine gute Kompromisseinstellung gefunden wird, die alle Inhalte wie Musik und Sprache berücksichtigt. Der *Dolby DP600* bietet dagegen den Vorteil, dass es auf individuellen Einstellungen pro Beitrag basiert. Jedes File wird in seiner Lautheit separat analysiert und durch eine neue Skalierung oder Metadaten korrigiert.

7) Lösung von Problemen in der Hörfunkpraxis

Auch sollen die Geräte in Bezug auf die in Kapitel 3 aufgezeigten Probleme in der Hörfunkpraxis durch hohe Anforderungen an Moderatoren, Fehleinstellung der Fader, Regionalisierung oder unterschiedliche Sendeformate und -beiträge verglichen werden. Inwieweit können sie diese unterbinden oder verursachen sie diese sogar selbst?

7a) Moderatoren und Selbstfahrerbetrieb

Sowohl beim *Jünger d07* als auch beim *Optimod-FM 8200* können Fahrfehler über die AGC aufgefangen werden. Allerdings verursacht die AGC auch Probleme bei Faderfahrten, da sie Pegeländerungen entgegenwirkt. Der Techniker oder Moderator muss sich an die Reaktion des Soundprocessings gewöhnen, um gewünschte Faderfahrten zu erzeugen. Durch den *Dolby DP600* werden Fahrfehler ebenfalls aufgefangen, da über die individuelle Lautheitskorrektur der Files eine manuelle Einstellung der Pegel wegfallen kann. Außerdem gibt es beim Dolby DP600 keine gerätespezifischen Fadeprobleme.

7b) Sendebeiträge

Bei *allen* Geräten ist es kaum möglich, schlecht produzierte Sendebeiträge zu korrigieren. Es werden zwar verschiedene Frequenzen verstärkt oder gedämpft, ein Ausgleich von Lautheitsunterschieden zwischen einzelnen Beitragskomponenten ist aber nicht möglich.

7c) Übertragungstechnik

Beim *Jünger d07* und beim *Optimod-FM 8200* können übertragungstechnische Aspekte berücksichtigt werden. Zum einen können über Limitereinstellungen Verzerrungen vermieden werden, zum anderen kann die Pre-emphasis gesteuert und kontrolliert

werden. Auch ist es möglich, über verschiedene Parameter für Hoch- und Tiefpassfilter überflüssige Frequenzanteile unter 30 Hz und über 15 kHz, die die MPX-Leistung unnötig erhöhen würden, zu unterdrücken. Der *DP600* hat hingegen den Nachteil, dass er keinerlei Einfluss auf übertragungstechnische Aspekte hat.

7d) Musikprogramm und Sendeformat

Die Geräte *Jünger d07* und *Optimod-FM 8200* können dem Musik- und Senderformat gut angepasst werden. Zudem können sie auch zur Gestaltung des Senderklanges eingesetzt werden. Der Bearbeitungsgrad kann über Parameter gesteuert werden, und am Sendeformat entsprechend starke oder schwache Bearbeitungen vornehmen. Der *Dolby DP600* spielt hingegen eine kleinere Rolle für den Senderklang, da er geringeren Einfluss auf Dynamik und Klangbearbeitung ausübt.

7e) Regionalisierung

Probleme der Regionalisierung können von *Optimod* und *Jünger* kaum aufgefangen werden. In jedem Regionalstudio müsste ein solches Gerät mit identischen Einstellungen vorhanden sein, um zumindest einen kontinuierlichen Senderklang zu gewährleisten. Aber selbst wenn dies der Fall ist, so können Aussteuerungsfehler beim Umschalten nicht ausgeschlossen werden. Der *Dolby DP600* bietet dagegen eine Möglichkeit für zumindest alle digitalen Audiosignale, wenn alle Studios mit demselben Audiopool arbeiten bzw. vernetzt sind und ein Übernahmepegel an den Aussteuerungsfadern vorgeschrieben wäre.

8) Inwiefern können Kritikpunkte an der Lautheitsbearbeitung vermieden werden?

Die Geräte sollen nun anhand der üblichen Kritikpunkte der Lautheitsbearbeitung verglichen werden, die in Kapitel 3 zusammengefasst wurden (vgl. hierzu auch Tabelle 1). Hierzu zählen z.B. der Verlust an Dynamik, Charakteristikänderungen der Moderatorstimmen, undifferenzierte Wahrnehmung von Instrumenten und Eingriff in die ursprüngliche künstlerische Intention. Die Frage ist hierbei, in wie weit diese üblichen Kritikpunkte bei den unterschiedlichen Lösungsansätzen zutreffen oder nicht.

8a) Verlust an Dynamik

Bei den Geräten von *Jünger* und *Orban* ist der Dynamikverlust bei den meisten Sendeformaten sehr hoch, da über die Einengung der Dynamik eine größere Lautheit erzielt wird. Bei dem *DP600* gibt es keinen Dynamikverlust, um eine größere Lautheit zu erhalten (vgl. Dolby 2008, 1).

8b) Moderatorstimme verliert an Eigencharakteristik

Mit der einheitlichen Einstellung beim *Jünger d07* und dem *Optimod-FM 8200* geht eine Vereinheitlichung verschiedener Moderatoren einher. Bei jedem Moderator wird entsprechend der Parametereinstellung der Klangcharakter gleich verändert und somit angeglichen. Der *DP600* sieht keine Moderationsbearbeitung vor, sodass die Moderatorstimme zwar an Eigencharakteristik nichts einbüßt, aber auch nicht in ihrem Klang optimiert werden kann.

8c) „alles hört sich gleich an" / Instrumente nicht mehr klar differenzierbar

Bei schlechten Parametereinstellungen oder bei Überkompression im *Jünger* oder *Optimod* kann die Differenzierbarkeit für bestimmte Musikinstrumente verschlechtert werden. Beim *DP600* ist eine schlechtere Differenzierbarkeit nur dann zu erwarten, wenn das Audiosignal selbst schlechte Klangcharakteristiken aufweist, denn beim DP600 gibt es sollte es keinerlei Klangänderungen geben.

8d) Ursprüngliche künstlerische Intention geht verloren

In die künstlerische Intention greift jedes Soundprocessing ein, da jede kleine Abweichung vom Original diese quasi verfälscht. Allerdings kann beim *Optimod* und beim *Jünger* durch die Vielzahl an Änderungsmöglichkeiten und die größere Dynamikminderung der Originalklang erheblich mehr geändert werden als beim *DP600*.

8e) Hörermüdung

Bei den zwei Lösungsansätzen, die mit Kompression arbeiten (*Jünger d07, Optimod-FM 8200*), kann davon ausgegangen werden, dass umso schneller mit einer Hörermüdung zu rechnen ist, je höher der Kompressionsgrad eingestellt wurde. Beim *DP600* ist damit weniger zu rechnen, da dieser keine Kompression vornimmt.

9) Anwendung von Lautheitsmessverfahren

Hier soll verglichen werden, mit welchen Techniken die Lautheitsmessung der Geräte erfolgt, auf deren Basis Lautheitsunterschiede angeglichen werden – und ob überhaupt psychoakustische Messverfahren verwendet werden.

Im *Optimod* und im *Jünger* wird die Lautheit nur durch eine Pegelmessung bestimmt. Im DP600 werden dagegen verschiedene psychoakustische Lautheitsmessmethoden angeboten. Diese berücksichtigen psychoakustische Faktoren und sollten eine bessere Angleichung der Lautheit an das menschliche Empfinden gewährleisten. Der DP600 kann hierfür u.a. die A-Bewertung und die RLB-Kurve aus der ITU-R BS.1770 verwenden.

10) Qualität im Hörvergleich

In einem abschließenden kleinen Hörvergleich wurden Teilnehmer gebeten, unbearbeitete sowie durch die einzelnen Geräte bearbeitete Musikstücke anzuhören und subjektiv Lautheitsunterschiede einzuschätzen. Die subjektive Einschätzung der Lautheit wurde dabei mit Hilfe einer 11er-Skala erhoben (mit -5 = „sehr viel leiser", 0 = „gleich laut", +5 = „sehr viel lauter"; vgl. Höger/ Greifenstein 1988: 129, die eine ähnliche 11er-Skala zur Lautheitseinschätzung verwendet haben).[8]

Die Durchführung der kleinen Pilot-Hörstudie erfolgte mit 10 Probanden. Das Alter der Probanden lag zwischen 26 und 58 Jahren (arithmetisches Mittel: 34,1 Jahre) und das Geschlecht war mit jeweils 5 weiblichen und 5 männlichen Probanden ausgeglichen.

Das Pilot-Experiment wurde wie folgt durchgeführt: Die Probanden wurden in jedem Durchgang gebeten, zwei aufeinanderfolgende Musiktitelausschnitte mit jeweils 20 Sekunden Länge und einer Sekunde Pause zwischen den Liedausschnitten zu vergleichen. Hierzu wurden die Probanden gebeten, nach dem Anhören beider Liedausschnitte auf der oben beschriebenen 11er-Skala einzuschätzen, inwieweit das zweite Lied im Vergleich zum ersten als subjektiv leiser, gleich laut oder lauter empfunden wurde. Nach einem Testdurchgang zur Einübung der 11er-Skala folgten pro Proband acht Experimentaldurchgänge in randomisierter Reihenfolge: zwei Durchgänge mit unbearbeiteten Original-Audiofiles und zwei Durchgänge mit bearbeiteten Files für jedes der drei Geräte. Die beiden jeweils aufeinander folgenden Liedausschnitte wurden dabei jeweils vom selben Gerät bearbeitet. Die einzelnen Durchgänge wurden in randomisierter Reihenfolge vorgetragen, sodass das Ergebnis von Reihenfolgen- und Konzentrationsfaktoren möglichst unbeeinflusst blieb.

Bei der Liedauswahl wurde auf 4 Lieder aus dem Pool des SWR4 zurückgegriffen. Die Liedausschnitte wurden dabei so gewählt, dass der Gesangsanteil ungefähr gleich hoch war. Des Weiteren wurden die Musiktitel so ausgewählt, dass Lautheitsunterschiede zu erwarten waren. Daher wurde in jedem Durchgang ein modern produzierter Schlagertitel mit einem Oldiesong verglichen. Zum einen wurde das Lied „A boy named Sue" von Johnny Cash (1969) und darauf folgend das Lied „Alte Liebe rostet nicht" von Tommy Steiner (2008) präsentiert, und zum anderen das Lied „Hi" von Howard Carpendale (2007) vor dem Lied „A fool such as I" von Elvis Presley (1959). Während bei der ersten Liedfolge also ein moderner Schlager auf einen Oldie folgte, war dies bei der zweiten Liedfolge stets genau umgekehrt.

[8] Der komplette Fragebogen ist im Anhang einzusehen.

Für den Jünger d07 und den Optimod-FM 8200 wurden exakt die aktuellen Parametereinstellungen des SWR verwendet, mit dem damit einhergehenden Nachteil, dass die Geräte nicht kontrolliert genau gleich eingestellt werden konnten. Ein Vorteil dabei ist jedoch, dass die Hörstudie damit einem „Praxistest" entspricht. Der Jünger d07 wurde unter Verwendung des Kompressors benutzt, also ohne Level Magic, was in etwa einem Jünger d05 entspricht (vgl. Abschnitt 4.1). Der Kompressor war dabei auf „soft" eingestellt. Zum Optimod-FM 8200 lässt sich sagen, dass eine höhere Kompression verwendet wurde.[9] Die Files vom Dolby DP600 wurden direkt im Hause Dolby bearbeitet.

Die Präsentationslautstärke wurde so gewählt, dass die zu vergleichenden Titel gleich eingestellt waren. Die Liedausschnitte wurden über eine kleine ProTools Workstation abgespielt. Abgehört wurde über die PC-Boxen WM 160, um eine realistische Abhörumgebung zu schaffen, da nicht davon ausgegangen werden kann, dass jeder Radiohörer über High-End Geräte verfügt, und Musik auch auf Küchenradios rezipiert wird.

Wie der nachfolgenden Abbildung 17 entnommen werden kann, ergibt der Hörtest, dass die höchste Lautheitsangleichung durch den Dolby DP600 erfolgt. Vor allem bei den Durchgängen „Cash-Steiner" zeichnet sich ein deutliches Ergebnis zugunsten des Dolby DP600 ab (deutliche Reduktion des Lautheitsunterschieds im Vergleich zum unbearbeiteten Original (Referenzwert) um durchschnittlich 1,2 Skalenpunkte). Der Optimod-FM 8200 belegt hier tendenziell den zweiten Platz mit einer geringfügigen Reduktion um durchschnittlich 0,5 Skalenpunkte, während der Jünger d07 (im d05-Modus) hier genau gleich abschneidet wie die Originalfiles. Der Unterschied des Optimod-FM 8200 von den Original- und Jünger-Files ist jedoch so gering, dass hier keine klare Aussage getroffen werden kann. In den Durchgängen „Carpendale-Presley" schneidet der Dolby DP600 tendenziell ebenfalls am besten ab. Hier ist der Abstand zu den anderen Geräten jedoch lange nicht so groß und die Lautheitsunterschiede aller Geräte liegen sehr nahe beieinander. Dennoch fällt auch hier auf, dass der DP600 die Lautheiten beider Lieder zumindest marginal angleicht (um 0,3 Skalenpunkte), während Optimod und insbesondere Jünger sogar minimal höhere Lautheitsunterschiede aufweisen im Vergleich zum unbearbeiteten Original.

Dass die Unterschiede im Test der Lieder „Cash-Steiner" deutlicher ausfiel als bei „Carpendale-Presley" kann mehrere Gründe haben. Zum einen kann es natürlich an den Liedern selbst liegen. Möglicherweise spielt hier jedoch auch die Reihenfolge eine Rolle: bei „Cash-Steiner" folgte der moderne Schlager auf einen Oldie, sodass der zweite Song als

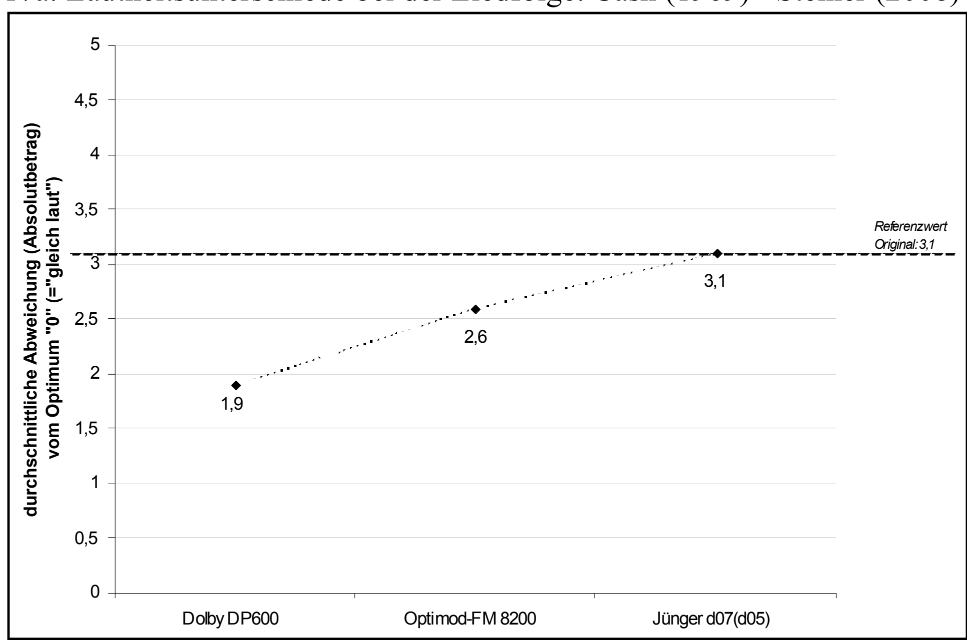
[9] Die verschiedenen klangbeeinflussenden Parameter sind unbekannt, da das Gerät von externen Technikern eingestellt wurde.

ungleich lauter wahrgenommen wurde. Bei der umgekehrten Reihenfolge „Carpendale-Presley“ wurde der Songwechsel möglicherweise als nicht so extrem wahrgenommen, wenn ein „ruhiger“ Song auf einen höher komprimierten Song folgt. Dies verdeutlicht auch einmal mehr die Rolle psychologischer Faktoren der Wahrnehmung von Lautheit (vgl. Abschnitt 2.3).

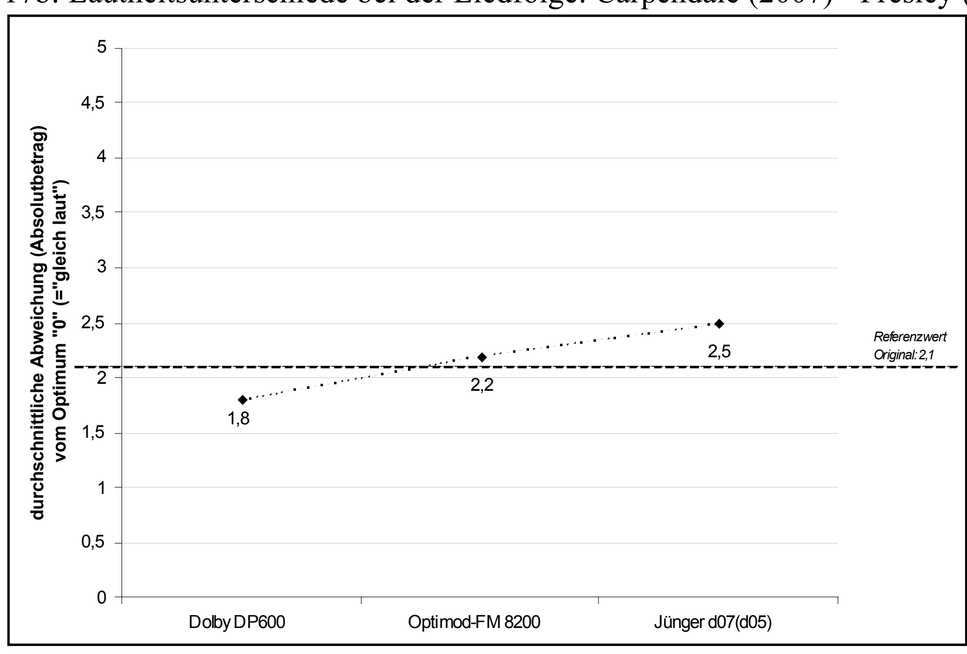
Abbildung 17: Durchschnittlich eingestufte Lautheitsunterschiede
(Pilot-Studie mit zehn Probanden; die angegebenen Referenzwerte ergeben sich aus den durchschnittlichen Einstufungen der unbearbeiteten Original-Audiofiles)



17a: Lautheitsunterschiede bei der Liedfolge: Cash (1969) - Steiner (2008)



17b: Lautheitsunterschiede bei der Liedfolge: Carpendale (2007) - Presley (1959)



Wie bereits eingangs erwähnt, kann dieser Pilot-Studie natürlich nur eine Tendenz entnommen werden. Zusammenfassend scheint die Lautheitsangleichung des DP600 zumindest tendenziell am besten zu sein. Vergessen werden darf bei dem Vergleich jedoch nicht, dass Optimod und Jünger nur mit den SWR-Einstellungen getestet werden konnten und daher auch mit unterschiedlichen Kompressionsgraden eingestellt sind.

In der nachfolgenden Tabelle 3 wird abschließend eine Übersicht des Vergleichs der drei Lösungsansätze vorgestellt. Für einen direkten Vergleich werden die drei Geräte für jedes Kriterium jeweils mit den drei Farben rot („das Gerät ist nicht bzw. schlecht geeignet bzw. schneidet im Vergleich am schlechtesten ab"), orange („das Gerät ist mit Abstrichen geeignet") oder grün („das Gerät ist gut bzw. schneidet im Vergleich am besten ab") eingestuft.

Tabelle 3: Übersicht zum Vergleich von Jünger d07, Optimod-FM 8200 und Dolby DP600

Kriterium	**Jünger d07**	**Orban Optimod-FM 8200**	**Dolby DP600**
1) Finanzieller Aufwand	3900€ (zzgl. MwSt) optional: d07remote Control Panel: 1600€ (zzgl. MwSt)[10]	*--- Gerät wird seit 2004 nicht mehr produziert ---* Nachfolgemodelle:[11] Optimod-FM 8300: 8409€ (zzgl. MwSt) Optimod-FM 8500: 16181€ (zzgl. MwSt)	Basisausführung DP600: 17500$ = ca. 12200€ (Listenpreis) DP600-C: 26000$=ca.18100€ (Listenpreis)[12]
2) Schwierigkeit und Komplexität der Parametereinstellung	relativ einfach und übersichtlich einstellbar	sehr viele Parameter erfordern viel Zeit und Know-How	sehr einfach zu konfigurieren, da klangcharakteristische Faktoren wegfallen
3) Variabilität / Vielseitigkeit / Parametervielfalt	nötige Flexibilität durch nötige Parameter	sehr flexibel durch viele Parameter	keine flexible Klanggestaltung, wenige Parameter
4) insgesamt geeignet für Sendeformate	Gerät kann über Presets und Parameter allen Sendeformaten angepasst werden. Zwischen Sprache und Musik ist ein Kompromiss nötig.	Gerät kann über Presets und Parameter allen Sendeformaten angepasst werden. Zwischen Sprache und Musik ist ein Kompromiss nötig.	geeignet für alle Musik- und Sprachformate, die als Datei archiviert sind Bearbeitung von Moderatoren und Livebeiträgen ist nicht vorgesehen
5) Angleichung von Livebeiträgen	in Echtzeit über Soundprocessing	in Echtzeit über Soundprocessing	nicht vorhanden und vorgesehen
6) individuelle Einstellungen pro Beitrag	nein	nein	Jedes File enthält seine spezifischen Metadaten oder wird neu skaliert, wenn das Dateiformat Metadaten nicht unterstützt.
7) Lösung von Problemen in der Hörfunk-praxis: a) Modera-toren und Selbstfahrer-betrieb	Fahrfehler werden korrigiert; Probleme von Faderfahrten verursacht durch AGC	Fahrfehler werden korrigiert; Probleme von Faderfahrten verursacht durch AGC	Fahrfehler werden korrigiert; Keine Probleme bei Faderfahrten
7) b) Sende-beiträge	Sendebeiträge können nur in der Gesamtlautheit geändert werden	Sendebeiträge können nur in der Gesamtlautheit geändert werden	Sendebeiträge können nur in der Gesamtlautheit geändert werden

Fortsetzung der Tabelle auf der nachfolgenden Seite

[10] vgl. z.B. www.pro-audio-store.com; zuletzt zugegriffen am 30.8.2009
[11] vgl. z.B. www.pro-audio-store.com; zuletzt zugegriffen am 30.8.2009
[12] vgl. Preisliste von Dolby: http://www.dolby.com/professional/pro_audio_engineering/broadcast_price_list.html; zuletzt zugegriffen am 30.8.2009

	c) Übertragungstechnik	übertragungstechnische Maßnahmen werden im Gerät kontrolliert	übertragungstechnische Maßnahmen werden im Gerät kontrolliert	Es werden keine übertragungstechnischen Maßnahmen vorgenommen.
	d) Musikprogramm und Sendeformat	Der Klang der Musik und senderspezifische Ästhetik kann im Gerät generiert werden.	Der Klang der Musik und senderspezifische Ästhetik kann im Gerät generiert werden.	geringerer Einfluss auf Senderklang
	e) Regionalisierung	Probleme durch Regionalisierung können nicht aufgefangen werden.	Probleme durch Regionalisierung können nicht aufgefangen werden.	Regionalisierung kann bei Musik und Beiträgen zum Teil aufgefangen werden.
8) Inwiefern können die folgenden üblichen Kritikpunkte an der Lautheitsbearbeitung vermieden werden?	**a) Verlust an Dynamik**	Dynamikverlust entsprechend des Kompressionsgrades durch verschiedene Gerätekomponenten	Dynamikverlust entsprechend des Kompressionsgrades durch verschiedene Gerätekomponenten	geringerer Dynamikverlust
	b) Moderatorstimme verliert an Eigencharakteristik	Angleichung der Klangcharakteristik durch einheitlich gleich bleibende Einstellungen	Angleichung der Klangcharakteristik durch einheitlich gleich bleibende Einstellungen	keine Bearbeitung von Moderation
	c) Instrumente nicht mehr klar differenzierbar	bei Fehleinstellung, heiklem Audiosignal oder übertriebener Kompression	bei Fehleinstellung, heiklem Audiosignal oder übertriebener Kompression	bessere Differenzierbarkeit , da nur abhängig von Audioinhalt
	d) Ursprüngliche künstlerische Intention geht verloren	Eingriff in die künstlerische Intention durch Dynamikänderung und andere klangverändernde Processing-komponenten	Eingriff in die künstlerische Intention durch Dynamikänderung und andere klangverändernde Processing-komponenten	geringerer Eingriff in die künstlerische Intention durch geringe Dynamikverluste
	f) Hörermüdung	abhängig vom eingestellten Kompressionsgrad	abhängig vom eingestellten Kompressionsgrad	nicht bzw. kaum zu erwarten
9) Lautheitsmessverfahren		reine Pegelbewertung	reine Pegelbewertung	Lautheitsmessung durch psychoakustische Verfahren, u.a. A-Bewertung und ITU-R BS.1770
10) Qualität im Hörvergleich		Lautheitsunterschiede sind nicht geringer als bei den Original-Audiosignalen.	Lautheitsunterschiede sind nur zum Teil und nur unwesentlich geringer als bei den Original-Audiosignalen.	Lautheitsunterschiede sind z.T. deutlich geringer als bei den Original-Audiosignalen.

Abschließend kann auf Basis von Tabelle 3 gesagt werden, dass jedes der drei Geräte seine Stärken und Schwächen hat und eine Empfehlung letztlich von seinem künftigen Anwendungsgebiet abhängt. Bei Änderungen von Klangcharakteristik und Individualisierung des Senders eignen sich der *Jünger* und der *Optimod* sehr gut. Auch zur Bearbeitung von Moderation und anderen Livebeiträgen, oder aus übertragungstechnischen Gesichtspunkten haben sie einen Vorteil gegenüber dem DP 600. Der Jünger d07 und Optimod-FM 8200 unterscheiden sich hinsichtlich der hier verwendeten Vergleichkriterien nur geringfügig: So ist der Jünger d07 kostengünstiger in seiner Anschaffung und hat zudem leichte Vorteile hinsichtlich seiner einfacheren Handhabung, während der Optimod mit mehr Einstellungsmöglichkeiten punktet. Jedes Gerät hat aber einen gewissen charakteristischen Eigenklang, bei dem auch der subjektive Geschmack des Anwenders entscheidet, welches Gerät man letztlich bevorzugt.

Der *Dolby DP600* ist hingegen ein sehr gutes Gerät in einer dateibasierten Umgebung. Seine Stärken sind seine einfache Integration in den Sendeablauf, eine auf psychoakustischen Modellen gestützte non-destruktive Lautheitsanpassung, die Möglichkeit der Archivierung von Daten und die Möglichkeit zur Aufhebung von Regionalisierungsproblemen unter der Voraussetzung des Zugriffs der dezentralen Studios auf einen gemeinsamen zentralen Server. Wie gesehen, ist mit dem Dolby DP600 im Unterschied zu den beiden übrigen Geräten auch am wenigsten mit dem Eintreten der üblichen generellen Kritikpunkte an Lautheitsbearbeitungen zu rechnen, was v.a. in Senderkontexten interessant sein kann, in denen noch Vorbehalte gegenüber Lautheitsanpassungen bestehen. Im Hörvergleichstest von Lautheitsunterschieden hat der Dolby DP600 zudem am besten abgeschnitten. Der Dolby DP600 ist jedoch wie gesehen nicht für Livebeiträge vorgesehen, und kann im Gegensatz zu den beiden anderen Geräten deshalb im Sendeablauf nur eingeschränkt alleinstehend verwendet werden. Des Weiteren ist der Dolby DP600 im Vergleich tendenziell – je nach Wahl der Gerätevariante – in seiner Anschaffung mit den höchsten Kosten verbunden.

Alles in allem kommt es also wie gezeigt auf die Anwendungssituation sowie auf die angestrebten Ziele an, welches Gerät zu bevorzugen ist. Zudem wäre auch – je nach zur Verfügung stehendem Budget – eine Kombination des DP600 mit einem Jünger d07 oder einem Optimod-FM 8200 eine interessante Lösungsmöglichkeit, um die jeweiligen Vorzüge beider Gerätetypen auszunutzen.[13]

6 Fazit

In dieser Arbeit sollte analysiert werden, welche Probleme die Entwicklung der Lautheit von Musiktiteln im Zuge des sog. „Loudness War“ mit sich bringt und welches die geeigneten technischen Möglichkeiten zur Lösung dieser Probleme unter besonderer Berücksichtigung der Anwendung für den Hörfunk sind.

Dazu wurden in Kapitel 2 psychoakustische Grundlagen herausgearbeitet, von denen die subjektive Lautstärkewahrnehmung abhängt. Aufgrund der Anatomie des menschlichen Gehörs und der individuellen Lautstärkewahrnehmung wird mit vielen psychoakustischen Modellen versucht, die subjektive Lautstärkewahrnehmung greifbar und berechenbar zu

[13] Bei einer solchen Kombination könnte das dateibasierte Arbeiten mit Metadaten des DP600 optimal durch die Bearbeitung von Livebeiträgen und des Gesamtklangs durch den Jünger d07 oder Optimod-FM 8200 ergänzt werden. Der Jünger d07 bzw. Optimod-FM 8200 könnten in diesem Falle dann auch mit „sanften“ bzw. v.a. auf Sprache spezifizierten Kompressoreinstellungen auskommen, da Lautheitsprobleme der Musik bereits durch den DP600 annähernd behoben wären.

machen. Lautstärkepegel, Verdeckungseffekte, Schalldauer und Tonhöhe haben sich in dem Kapitel 2.1 als die maßgeblichen psychoakustischen Einflussgrößen für die Lautheit herausgestellt und werden in zahlreichen technischen Lösungsmöglichkeiten berücksichtigt. In Kapitel 2.2 wurde die grundsätzliche Funktionsweise von Kompression erläutert und aufgezeigt, mit welchen Mitteln versucht wird, Lautheitsunterschiede anzupassen. Dieses Kapitel zeigt außerdem verschiedene Ansätze der Messtechnik, mit denen versucht wird, die Lautheit zu erfassen und wie sich die verschiedenen Richtlinien aus diversen Forschungsergebnissen ergeben. Aus diesem Kapitel geht hervor, dass es sehr viele Ansätze und Empfehlungen zur Messung der Lautheit gibt, und sich bisher noch keines dieser Messsysteme zur Bestimmung der Lautheit durchgesetzt hat. Den vielversprechendsten Ansatz bietet bislang die L_{eq}-Messung mit der RLB-Frequenzbewertung oder einer R2LB-Frequenzbewertung für den Mehrkanalton. Auch zeigt das Kapitel 2.2 die international unterschiedlichen Rundfunkpegelnormen auf, was für eine Vereinheitlichung der Lautheit ebenfalls berücksichtigt werden muss. Auch die in Kapitel 2.3 beschriebenen psychologischen Aspekte stellen heraus, dass die subjektive Lautstärkewahrnehmung ein weitaus komplexeres Teilgebiet der Tontechnik darstellt, und deshalb noch näher erforscht werden muss.

In Kapitel 3 konnten Ursachen und Probleme von Lautheitsunterschieden mit speziellem Augenmerk auf den Hörfunk herausgearbeitet werden. Es hat sich dabei herausgestellt, dass Moderatoren und Selbstfahrerbetrieb, Übertragungstechnik, Musikprogramm und Sendeformat, unterschiedliche Sendebeiträge sowie Regionalisierung die Hauptursachen für Lautheitsunterschiede darstellen. Mit den Kapiteln 4.1 (Jünger d07), Kapitel 4.2 (Optimod-FM 8200) und Kapitel 4.3 (Dolby DP600) wurden drei aktuelle Lösungsvarianten zur Behebung der Lautheitsunterschiede vorgestellt. Dabei konnte mit Hilfe der in Kapitel 2 beschriebenen Grundkenntnisse jeweils deren grundsätzliche Funktionsweise, deren Anpassungsmöglichkeiten und deren Integration in den Sendeablauf aufgezeigt werden.

Der in Kapitel 5 vorgestellte Vergleich der Lösungsansätze bietet einen theoretischen Überblick, ob es mit den Geräten gelingen kann, die für den Hörfunk relevanten Gesichtspunkte zufrieden stellend umzusetzen. Anhand der in Kapitel 2 und 3 beschriebenen Sachverhalte haben sich für dieses Kapitel Kriterien herausgestellt, anhand derer die drei Lösungsansätze verglichen wurden. Dabei ging als Ergebnis hervor, dass jedes Gerät seine Stärken und Schwächen vorweist, und eine endgültige Beseitigung von Lautheitsunterschieden für den Hörfunk durch diese Geräte noch nicht zu erwarten ist. So können die Soundprocessings von Geräten wie dem *Jünger d07* und *dem Optimod-FM 8200* Lautheitsunterschiede nur eindämmen, aber nicht beseitigen. Dafür werden andere

senderrelevante Aufgaben gut gelöst. Durch sehr individuelle Einstellungen ist es Sendern möglich, einen individuellen Klang in Abhängigkeit des Sendeformates zu gestalten. Auch berücksichtigen diese zwei Geräte durch Limiter, Clipper und verschiedenen Frequenzfiltern alle übertragungstechnischen Eigenschaften, um Übersteuerungsschutz und Verletzungen der Sendevorschriften zu vermeiden, oder die Übertragungsqualität durch Preemphasis zu kontrollieren. Auch ist es möglich, mit diesen Geräten die Livemoderation zu bearbeiten und Lautheitsunterschiede zwischen unterschiedlichen Musiktiteln und Sprache als Kompromiss anzugleichen.

Der *Dolby DP600* hat seine Stärke u.a. in Archivierungsaufgaben in dateigestützten Sendeabläufen. Die Lautheitsangleichung für Musik und Beiträge bildet eine sehr vielversprechende Basis für weitere Forschungsarbeiten, da auch bei ihm nicht alle Lautheitsunterschiede aufgefangen werden können, das Gerät in der vorgestellten Pilotstudie jedoch tendenziell am besten abgeschnitten hat. Moderation und Livebeiträge sieht der Dolby DP600 überhaupt nicht vor, weshalb in einem Sender zusätzliche Geräte zur Bearbeitung von Sprache nötig wären. Auch sind die verschiedenen Funktionen für Übertragungstechnik oder Senderindividualisierung, die für den Rundfunk relevant sind, nicht implementiert.

Eine Kombination des Dolby DP600 mit einem der anderen beschriebenen Geräten wäre ein weiterer interessanter Lösungsansatz, um die verschiedenen Vorteile zu verbinden, und gegebene Schwächen auszugleichen. Dies war aber nicht Gegenstand dieser Arbeit und müsste in weiteren Studien getestet werden.

Von einer weiteren Angleichung von Lautheitsunterschieden im Hörfunk kann in Zukunft ausgegangen werden, da sich der Handlungsbedarf in den letzten Jahren mehr und mehr abzeichnet. Durch die überproduzierten Musiktitel der neueren Zeit verlangt es nicht nur den Hörfunk nach Richtlinien, die eine Lautheitsbegrenzung vorsehen. Im Falle der aktuellen Metallica-Produktion gab es sogar eine Hörerpetition, die eine Neuauflage unter neuen Mischverhältnissen der CD forderte. Bei dieser CD wurden sogar Titel, die in das Computerspiel „Guitar Hero“ aufgenommen wurden, mit einem neuen Mastering versehen und in ihrer Lautheit bearbeitet, woraufhin sich viele Fans dieses Spiel kauften, nur um ihre Lieblingsband verzerrungsfrei hören zu können. Es kann also davon ausgegangen werden, dass das Maximum an Lautheit erreicht ist, und sich die Hörervorlieben wieder mehr Richtung Dynamik bewegen. Im Falle des Hörfunks kann auch mit weiteren Entwicklungen gerechnet werden. Wenn neue Studien durchgeführt werden, und verschiedene Richtlinien zu Standards definiert werden, kann davon ausgegangen werden, dass zunehmend

Lautheitsmessungen in den technischen Geräten integriert werden. Auch kann davon ausgegangen werden, dass die Angleichung durch Frequenzbewertungskurven weiterentwickelt wird. Größere Vergleichsstudien können sicherlich ein allgemeingültigeres Ergebnis liefern, inwieweit welche Geräte mit welchen Parametereinstellungen im Hörtest die beste Lautheitsanpassung erreichen. Dies bleibt zukünftigen Forschungsarbeiten vorbehalten.

Literaturverzeichnis

Anderson, J.R., 2007: Kognitive Psychologie (6. Auflage herausgegeben von Funke, J.). Berlin/ Heidelberg: Springer-Verlag.

Bruhn,H./ Kopiez, R./ Lehmann, A.C., 2008: Musikpsychologie. Das neue Handbuch. Reinbek: Rowohlt Verlag GmbH.

Deutsches Institut für Normung, 1991: DIN 45631: Verfahren zur Berechnung des Lautstärkepegels und der Lautheit. Verfahren nach Zwicker, E. NormCD Stand 2009-03, Beuth Verlag.

Dickreiter, M./ Dittel, V./ Hoeg, W./ Wöhr, M., 2008: Handbuch der Tonstudiotechnik Band 2 (7. Auflage herausgegeben von der ARD/ZDF medienakademie). München: K. G. Saur Verlag.

Dolby, 2008: Dolby DP600 Program Optimizer Manual. In: http://www.dolby.com/uploadedFiles/zz-_Shared_Assets/English_PDFs/Professional/ Dolby_DP600_I_M_manual.pdf. Zuletzt zugegriffen am 6.9.2009.

Fastl, H./ Zwicker, E., 2007: Psychoacoustics Facts and models (2. Auflage). Berlin/ Heidelberg/ New York: Springer-Verlag.

Goldstein, B. E., 1997: Wahrnehmungspsychologie. Heidelberg/ Berlin/ Oxford: Spektrum Akademischer Verlag GmbH.

Heckl, M./ Müller, H.A., 1994: Taschenbuch der Technischen Akustik (2. Auflage). Berlin/ Heidelberg: Springer Verlag.

Hellbrück, J., 1982: Lautheit, Lärm und Leistung. S. 56-68. In: Heller, O. (Hrsg.), Forschungsbericht. Würzburger Psychologisches Institut; 1981. Würzburg: Psychologisches Institut.

Hellbrück, J./ Matt, J., 1982: Zur Altersabhängigkeit der Lautheit. S. 16-26. In: Heller, O. (Hrsg.), Forschungsbericht. Würzburger Psychologisches Institut; 1981. Würzburg: Psychologisches Institut.

Henle, H./ France, R., 2007: Lautheitsnormalisierung und Transcodierung von Audiodateien im Sendeablauf. FKT 05/07: 263-266.

Henle, H. , 2001: das Tonstudio Handbuch (5. Auflage). München: GC Carstensen Verlag.

Hoeger, R./ Greifenstein, P., 1988: Zum Einfluss der Größe von Lastkraftwagen auf deren wahrgenommene Lautheit. S. 128-131. In: Deutscher Arbeitsring für Lärmbekämpfung (Hrsg.), Zeitschrift für Lärmbekämpfung. Düsseldorf: Springer-VDI-Verlag.

Jünger Audio, 2005: Jünger d07 Bedienungsanleitung. In: http://juenger-audio.de/docs/manuals/transmission_signal_processor/d07_manual_DE_LM_mitIP_080123.pdf . Zuletzt zugegriffen am 6.9.2009.

Kahsnitz, M., 2009: Wachablösung. Lautheitsmessung in Broadcast und Produktion. Studio Magazin 06/09: 33-41.

Keith, M.C., 1993: The Radio Station (3. Auflage). Stoneham: Butterworth-Heinemann.

Levine, R., 2007: The Death of High Fidality. In: http://www.rollingstone.com/news/story/17777619/the_death_of_high_fidelity; Zuletzt zugegriffen am 11.6.09.

Matt-Sommer, J., 1992: Signalentdeckungstheoretische Analysen von Absoluturteilen über die Lautheit. Konstanz: Hartung-Gorre Verlag.

Orban, 1991: Optimod-FM 8200. Operating Manual. Section 3. In: http://www.radiotechnique.com/Orban/8200/3.pdf. Zuletzt zugegriffen am 6.9.2009.

Orban, 2005: Optimod-FM 2200, 2300, 5300, 8200, 8300, 8400, and 8500 Comparison. In: http://www.orban.com/brochures/white_papers_faqs/Optimod-FM%20Comparison.pdf. Zuletzt zugegriffen 7.9.2009.

Pawera, N., 2003: Mikrofonpraxis (4. Auflage). Bergkirchen: PPVMEDIEN GmbH.

Skovenborg, E./ Nielsen, S. H., 2004: Evaluation of Different Loudness Models with Music and Speech Material. Audio Engineering Convention Paper of the 117th convention. In: http://www.tcelectronic.com/media/skovenborg_2004_loudness_m.pdf. Zuletzt zugegriffen am 7.9.2009.

Soulodre, G. A., 2004: Evaluation of objective measures of loudness. Canadian Acoustics 32(3): 152-153.

Ulrich, J./ Hoffmann, E., 2007: Hörakustik. Theorie und Praxis. Heidelberg: DOZ Verlag.

Weinzierl, S., 2008: Handbuch der Audiotechnik In: http://books.google.com/books?id=yIRrs1npLRAC&pg=PA561&lpg=PA561&dq=isokurve+r26&source=bl&ots=AHWiLhklBe&sig=6F9DfYGGLlEFlsEn1rbgEyIrFA&hl=de&ei=rPZlSpXbE4PImgPq7bmPAw&sa=X&oi=book_result&ct=result&resnum=1#v=onepage&q=&f=false; Zuletzt zugegriffen am 4.9.2009.

Zwicker, E., 1982: Psychoakustik. Berlin/Heidelberg/New York: Springer Verlag.

Zwicker, E./ Feldkeller, R., 1967: Das Ohr als Nachrichtenempfänger (2. Auflage). Stuttgart: Hirzel Verlag.

Anhang

Datum: ___________
Uhrzeit: ___________
Teilnehmername: ______________________
Alter: ___________
Geschlecht: ___________

Studie „Wahrnehmung der Lautstärke von Musik“

Das Experiment besteht insgesamt aus einem Testdurchgang und 8 Experiment-Durchgängen. In jedem Durchgang werden Dir Auszüge aus zwei Liedern nacheinander vorgespielt. Anschließend wirst Du dann gebeten, einzuschätzen, inwieweit das zweite Lied mehr oder weniger lauter, gleich laut oder leiser war als das erste. Bitte immer nur 1 Kreuz pro Frage machen.

Testdurchgang:

War das zweite Lied im Vergleich zum ersten...?

sehr viel leiser					**gleich laut**					**sehr viel lauter**
❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑
-5	-4	-3	-2	-1	0	+1	+2	+3	+4	+5

Gibt es noch Fragen, z.B. zur Bewertungsskala, bevor es losgeht?

Durchgang 1:

War das zweite Lied im Vergleich zum ersten...?

sehr viel leiser					**gleich laut**					**sehr viel lauter**
❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑
-5	-4	-3	-2	-1	0	+1	+2	+3	+4	+5

Durchgang 2:

War das zweite Lied im Vergleich zum ersten...?

sehr viel leiser					**gleich laut**					**sehr viel lauter**
❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑
-5	-4	-3	-2	-1	0	+1	+2	+3	+4	+5

Durchgang 3:

War das zweite Lied im Vergleich zum ersten...?

sehr viel leiser					**gleich laut**					**sehr viel lauter**
❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑
-5	-4	-3	-2	-1	0	+1	+2	+3	+4	+5

Durchgang 4:

War das zweite Lied im Vergleich zum ersten...?

sehr viel leiser					**gleich laut**					**sehr viel lauter**
❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑
-5	-4	-3	-2	-1	0	+1	+2	+3	+4	+5

Durchgang 5:

War das zweite Lied im Vergleich zum ersten...?

sehr viel leiser					**gleich laut**					**sehr viel lauter**
❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑
-5	-4	-3	-2	-1	0	+1	+2	+3	+4	+5

Durchgang 6:

War das zweite Lied im Vergleich zum ersten...?

sehr viel leiser					**gleich laut**					**sehr viel lauter**
❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑
-5	-4	-3	-2	-1	0	+1	+2	+3	+4	+5

Durchgang 7:

War das zweite Lied im Vergleich zum ersten...?

sehr viel leiser					**gleich laut**					**sehr viel lauter**
❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑
-5	-4	-3	-2	-1	0	+1	+2	+3	+4	+5

Durchgang 8:

War das zweite Lied im Vergleich zum ersten...?

sehr viel leiser					**gleich laut**					**sehr viel lauter**
❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑
-5	-4	-3	-2	-1	0	+1	+2	+3	+4	+5

Herzlichen Dank für die Teilnahme!!!!!